

Projet n°.AURG/2/161

(Contrat AURG/161/2012)

Aval Fonio

Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique

Rapport annuel

(Janvier 2015 – Juin 2016)



Auteurs: Cruz Jean-François, Goli Thierry, Ferré Thierry, Thaunay Patrice

Coordination du projet : CRUZ Jean-François

CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - France)

Octobre 2016

Niveau de diffusion	
RE	Restreint à un groupe spécifié par la Coordination



Union Africaine



Union Européenne
Procédure EuropeAid

Auteurs: **Cruz** Jean-François (1), **Goli** Thierry (1), **Ferré** Thierry (2), **Thaunay** Patrice (1)

(1) Cirad, UMR QualiSud, Département PERSYST, TA B-95/15, 73 rue Jean François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

(2) Cirad, UMR Innovation, Département ES, TA C-85/15, 73 rue Jean François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec les autres membres du Comité de pilotage scientifique et technique du projet Aval Fonio :

- **Béavogui** Famoï (IRAG, Guinée), Responsable WP1
- **Camara** Sawa (IRAG, Guinée), WP1
- Mme **Coulibali** Salimata (IER, Mali), Co-responsable WP3
- **Diallo** Thierno Alimou (IRAG, Guinée) Co-responsable WP2,
- Mme **Guindo** Fanta (IER, Mali), Co-responsable WP3
- **Kébé** Cheikh Mouhamed Fadel (ESP-UCAD, Sénégal), Co-responsable WP3
- **Medah** Ignace (IRSAT Burkina), Co-responsable WP4
- **Ntahomvukiye** Stany (CNTA, Burundi), WP2

Les auteurs souhaitent remercier les chercheurs et techniciens qui ont participé au projet et particulièrement:

- **Anne** Alkassoum Abdoulaye (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- **Ayessou** Nicolas (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- Mme **Bancal** Victoria (Cirad, France), WP3
- **Barro** Nessim Bamissa (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- **Bougma** Samuel (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- **Cissé** Mady (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- **Delpech** Antoine (Cirad, France), WP3
- **Diallo** Abdoul (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- **Fleuriot** Jean-Paul (Cirad, France), WP3
- **Kaboré** Antoine Crépin (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- **Kambiré** Fabekouré (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- **Kane** Cheikhou (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- **Kiogo** Raymond (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- Mme **Lemaitre** Virginie (Cirad, France), WP3
- **Loua** Francis (Guinée), WP2
- **Méot** Jean-Michel (Cirad, France), WP3
- Mme **Ouedraogo** Patricia (IRSAT, Burkina Faso), WP4
- **Ricci** Julien (Cirad, France), WP3
- **Rivier** Michel (Cirad, France), WP3
- **Sambou** Vincent (ESP-UCAD, Sénégal), WP3
- **Soufountera** Mamadou (IER, Mali), WP3
- Mme **Tangara Sidibé** Adiaratou (IER, Mali), WP3
- **Tangara** Kola (IER, Mali), WP3
- Mme **Traoré** Soungalo (IER, Mali), WP3

Ils souhaitent également remercier tous les acteurs privés (PME, GIE, équipementiers, ONG, producteurs...) qui ont participé aux activités.

Nota : Ce travail est soutenu financièrement par l'Union Africaine (procédure EuropeAid). Il ne reflète pas nécessairement les vues et en aucun cas ne préfigure la politique future de l'Union Africaine dans le domaine.

Photo de couverture : Formation à l'utilisation du séchoir à flux traversant CSec-T au Burkina Faso (© T.Ferré, Cirad)

Sommaire

1 – Description	1
2 - Evaluation de la mise en œuvre des activités de l’Action	3
2.1. Résumé de l'Action	3
English summary	4
2.2. Activités et résultats	5
2.2.1. WP1 : Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte	5
Activité 1.1. Typologie des exploitations et des systèmes post-récolte associés	5
Activité 1.2. Contraintes auxquelles sont soumis les producteurs et perspectives	8
2.2.2. WP2 : Mécanisation des techniques post-récolte du fonio	11
Activité 2.1 Mécaniser la récolte du fonio	11
Activité 2.2. Adapter des batteuses et des nettoyeurs	11
2.2.3. WP3: Amélioration des technologies de transformation et stabilisation	15
Activité 3. Mise au point des procédés de lavage et de dessablage du fonio	15
Activité 4. : Adaptation et validation de séchoirs pour les PME transformatrices	21
2.2.4. WP4: Processus d’innovation dans les petites agro-industries	31
Activité 5.1 : Identifier les acteurs du système d’innovation de la transformation	31
Activité 5.2 : Etudier les relations entre les composantes du système d’innovation	32
Activité 5.3. Accompagner les processus d’innovation	37
2.2.5. WP5: Animation, coordination et communication	38
Activité 6.1 : Réaliser un site internet pour informer les acteurs	38
Activité 6.2 : Organiser un séminaire en invitant d’autres pays producteurs	38
Activité 6.3 : Publier les résultats sous la forme d’articles et d’un cédérom	38
Activité 7.1 : Organiser et animer des ateliers spécifiques et les réunions annuelles	39
Activité 7.2 : Former les partenaires	41
2.3. Activités modifiées (retardées ou avancées)	42
2.4. Résultats du projet Aval Fonio	43
2.4.1. Observations sur l'exécution et la réalisation des activités	43
2.5. Plan d’action mis à jour (2016)	44
3 - Partenaires et autre coopération	44
3.1. Relations entre les partenaires du projet Aval Fonio	44
3.2. Relations avec les autorités étatiques dans les pays du projet	45
3.3. Relations avec toute autre organisation impliquée dans la mise en œuvre du projet	45
4 – Visibilité	46
4.1. Site internet du projet Aval Fonio	46
4.2. Publication	46
4.3. Accueil de visiteurs sur la plateforme agroalimentaire du Cirad	47

1. Description

1.1. Nom du bénéficiaire du contrat de subvention:

Cirad - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial. Registration No. 331 596 270
42, rue Scheffer
75116, Paris, France
Tel : +33 1 53 70 20 45 ; Fax : +33 1 53 70 20 34 ; E-mail : pdg@cirad.fr

1.2. Nom et fonction de la personne de contact:

Cruz Jean-François, (jean-francois.cruz@cirad.fr)
Cadre scientifique Cirad, Département Persyst, UMR Qualisud

1.3. Nom des partenaires de l'Action:

Partenaire 1 :

Institut de Recherche Agronomique de Guinée (IRAG), Conakry, Guinée
Béavogui Famoi, Directeur Général de l'IRAG (beavoguifamoi@gmail.com)

Partenaire 2 :

Institut d'Economie Rurale (IER), Bamako, Mali
Mme Coulibaly Salimata Sidibé, Chef du LTA/IER (salimatas3@gmail.com)

Partenaire 3 :

Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) Ouagadougou, Burkina.
Diawara Bréhima, Directeur de l'IRSAT (dirtsat@fasonet.bf) (b.diawara@yahoo.fr)

Partenaire 4 :

Ecole Supérieure Polytechnique/Université Cheikh Anta Diop (ESP/UCAD), Dakar Fann, Sénégal.
Kébé Cheikh Mouhamed Fadel (cmkebe@gmail.com)

1.4. Intitulé de l'Action:

Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique (Aval Fonio)

1.5. Numéro du contrat: AURG/161/2012

1.6. Date de début et date de fin de la période de reporting:

Janvier 2015, juin 2016

1.7. Pays ou région(s) cible(s):

Guinée, Mali, Burkina, Sénégal (et Burundi)

1.8. Bénéficiaires finaux et/ou groupes cibles¹ (si différents) (y inclus le nombre de femmes et d'hommes):

Bénéficiaires finaux : Acteurs de la filière fonio en Afrique et particulièrement les femmes

Groupes cibles Producteurs du Fouta Djallon (Guinée) – Groupements de femmes et PME transformatrices au Burkina Faso, au Mali, au Sénégal - Equipementiers locaux. Systèmes Nationaux de Recherche en Guinée, au Mali, au Burkina Faso, au Sénégal (et au Burundi)

1.9. Pays dans lequel/lesquels les activités sont réalisées (si différent du point 1.7):

Guinée, Mali, Burkina, Sénégal

¹ Les "groupes cibles" sont les groupes/entités pour lesquels le projet aura eu un apport direct et positif au niveau de l'objectif du projet, et les "bénéficiaires finaux" sont ceux qui bénéficieront du projet à long terme au niveau de la société ou d'un secteur.

1.10. Structure de l'action

L'Action qui s'appuie sur la complémentarité des partenaires et sur leur connaissance des terrains d'intervention est organisée en 5 *workpackages* (WP) détaillés ci-dessous et représentés schématiquement en figure 1 où apparaissent aussi les groupes cibles.

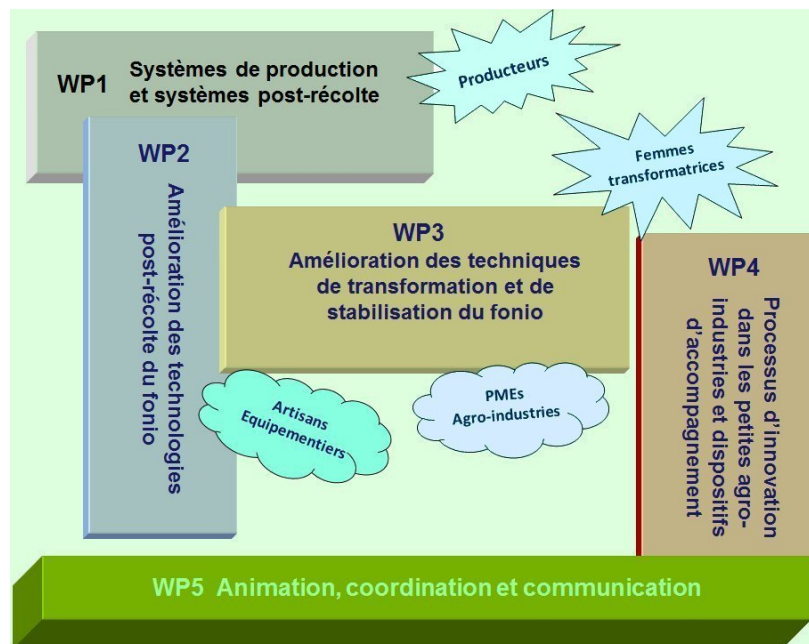


Figure 1 : Schéma des workpackages

Les principales activités sont illustrées par le diagramme suivant (figure 2)

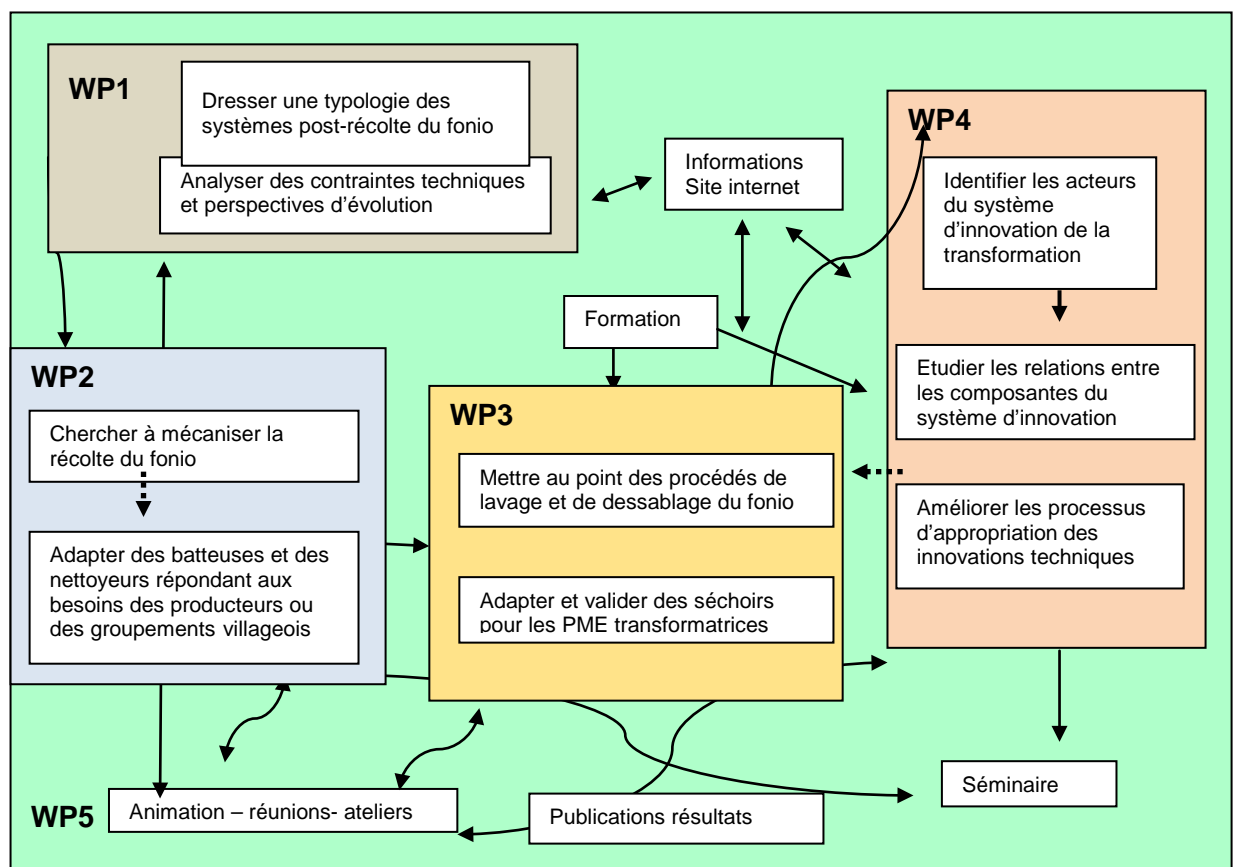


Figure 2. Diagramme des principales activités de l'Action

2. Evaluation de la mise en œuvre des activités de l'Action

2.1. Résumé de l'Action

Le projet Aval Fonio (AURG/161/2012) qui devait initialement durer jusqu'au 16 décembre 2015 a été prolongé de 6 mois jusqu'au 16 juin 2016 (addendum n°1 de l'Union Africaine du 5 octobre 2015 portant la durée du projet à 42 mois). Au cours de l'année 2015, la deuxième réunion annuelle a été organisée à Ouagadougou au Burkina Faso du 19 au 23 janvier 2015. Cette réunion a réuni une dizaine de participants venant du Mali, du Sénégal du Burundi, de France et naturellement du Burkina. Seuls les chercheurs de l'IRAG (Guinée) n'ont pas eu la possibilité de se joindre à la réunion. Puis, du 8 au 12 juin 2015, un atelier des workpackages rassemblant une vingtaine de participants s'est tenu à Dakar au Sénégal. Au cours du premier semestre de l'année 2016, la troisième réunion annuelle a eu lieu à Dakar au Sénégal du 1 au 5 février 2016. Cette réunion a été suivie par une douzaine de participants. Enfin la réunion finale s'est déroulée à Montpellier (France) du 6 au 10 juin 2016 et a réuni tous les partenaires du projet à l'exception du Burundi.

En 2015 et 2016, les activités du WP1 en Guinée : « *Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte* » initiées dans 6 gros villages du Fouta Djallon ont été étendues aux zones de Lélouma et Mali situées à l'ouest et au nord de Labé. Ces préfectures ont été choisies car la culture du fonio y est très fréquente aussi bien dans les tapades que dans les champs extérieurs.

Pour le WP2 « *Mécanisation des techniques post-récolte* », des parcelles d'essais ont été mises en culture à l'IRAG Bareng en juillet 2015. Après modification, la motofaucheuse à fonio a été testée en Guinée mais les résultats n'ont pas donné satisfaction. Des tests de battage et de nettoyage du fonio ont été réalisés par l'IRAG. La batteuse type Ricefan (Votex) achetée à la Société IMAF de Bamako (Mali) a été testée mais les résultats sont médiocres. Les nouveaux essais réalisés avec la batteuse ASSI réhabilitée, ont confirmé les bons résultats déjà obtenus lors des précédents projets fonio. Les essais de nettoyage avec le crible rotatif et le canal de vannage ont également confirmé les bonnes performances de ces équipements.

Concernant le WP3 « *Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation* », et l'activité 3 de mécanisation du lavage et du dessablage, il a été conclu que l'utilisation d'un simple laveur type « bétonnière » électrique permettait de mécaniser le lavage. Pour le dessablage, le Cirad a conçu et construit un premier prototype de dessableur « *hydrolift* » qui a été assemblé dans l'atelier IMAF avant d'être installé à la société Ucodal de Bamako. Le matériel fonctionne depuis l'été 2015 dans des conditions réelles d'utilisation avec de bonnes performances : débit de 80 à 100 kg/h avec un taux de sable résiduel dans le fonio qui peut être inférieur à 200 mg/kg. Au vu des bonnes performances obtenues une série de 3 hydrolifts a été réalisée pour être testée en milieu réel dans des petites entreprises de Bamako (Mali), Bobo Dioulasso (Burkina Faso) et Kédougou (Sénégal). Concernant l'activité 4 « séchage », les séchoirs à *flux traversant* (C*Sec-T*) et *serre solaire* (C*Sec-S*) ont été testés en station au Sénégal. Le séchoir C*Sec-T* a une capacité de chargement d'environ 100 kg et un débit de séchage de 30 à 35 kg/h (séchage de fonio humide de 35% à 10%). Un séchoir C*Sec-S* de 90 m² équipé de 10 claies assure le séchage d'environ 300 kg de fonio en 24 h (séchage de fonio humide de 35% à 10%). Certains de ces séchoirs ont été transférés et validés en milieu réel au Sénégal (séchoirs à *flux traversant* et *serre solaire*), au Burkina Faso (séchoirs à *flux traversant*) et en Guinée (petit séchoir *serre solaire*).

Pour le WP4 « *Processus d'innovation dans les petites industries de transformation* », les travaux réalisés au cours de la dernière phase du projet ont permis d'approfondir la connaissance des acteurs clés et des parties prenantes du système d'innovation de la filière fonio au Burkina Faso et au Mali. L'étude de cas de l'innovation « *décortiqueur de fonio GMBF* » met en évidence des impacts significatifs sur l'ensemble des acteurs de cette filière et en premier lieu les transformatrices et les producteurs. Au Burkina Faso, un dispositif, de type plateforme d'innovation multi-acteurs, pour soutenir la diffusion des innovations « *Hydrolift* » et « *séchoir CSec-T* » a été mis en place en 2015 à Bobo Dioulasso. L'entreprise SOLDEV, acteur majeur de cette plateforme comme équipementier, a déjà fabriqué et commercialisé 5 séchoirs pour des transformatrices de fonio de Ouagadougou, de Bobo Dioulasso et de Banfora.

Pour le WP5, la coordination a organisé les différents ateliers de chercheurs et les réunions annuelles du comité de pilotage et notamment en janvier 2015 à Ouagadougou au Burkina Faso, en juin 2015 et en février 2016 à Dakar au Sénégal et finalement en juin 2016 à Montpellier (France). Le site Web du projet (<http://aval-fonio.cirad.fr/>) a été régulièrement actualisé. La coordination a publié (publication Cirad – IRAG) l'ouvrage « Fonio, an african cereal ».

English summary

The Aval Fonio project (AURG, 161, 2012), initially planned to last until 16 December 2015 has been extended from 6 months until June 16, 2016 (addendum n ° 1 of the African Union of October 5, 2015, with the duration of the project to 42 months). In 2015, the second annual meeting was held in Ouagadougou (Burkina Faso) from 19 to 23 January 2015. This meeting was attended by ten participants from Mali, Senegal, Burundi, France and Burkina Faso. Researchers of IRAG (Guinea) did not get the opportunity to join the meeting. Then, a workpackages workshop, held in Dakar (Senegal), brought together twenty participants from 8 to 12 June 2015. During the first half of the year 2016, the third annual meeting was held in Dakar (Senegal) from 1 to 5 February 2016. This meeting was attended by a dozen participants. Finally the final meeting took place in Montpellier (France) from 6 to 10 June 2016 and brought together all the partners of the project (except from Burundi).

In 2015 and 2016, the activities of WP.1 in Guinea: '*Analysis of production and post-harvest systems*' initiated in 6 large villages of Fouta Djallon have been extended to the areas of Lélouma and Mali located west and north of Labé. These prefectures were chosen because the fonio culture is very common as well in the tapades than in outfields.

For the WP2 "*Mechanization of post-harvest techniques*", trial plots were prepared at the IRAG Bareng Centre in July 2015. After modification, the fonio motor mower has been tested in Guinea but the results did not give satisfaction. Tests of fonio threshing and cleaning were conducted by IRAG. The threshing machine type Ricefan (Votex), bought at the company IMAF Bamako (Mali), has been tested, but the results are mediocre. New trials with the rehabilitated ASSI thresher, confirmed the good results already obtained during previous fonio projects. Tests of fonio cleaning with the rotary screen and the winnowing channel also confirmed the good performance of these machines.

For the WP3 "*Improvement of processing and stabilization technologies*", and the activity 3 of mechanization of the washing and the desanding, it has been shown that a simple electric washer type "concrete mixer" can be used to mechanize the washing. For degritting fonio, Cirad has designed and built a prototype of degritter '*hydrolift*' that has been assembled in the IMAF workshop before being installed at the company Ucodal in Bamako. The hardware is functioning since the summer 2015 in real conditions of use with good performance: throughput of 80 to 100 kg/h with a rate of residual sand in fonio which may be less than 200 mg/kg. In view of the good performance results a series of 3 hydrolifts was realized to be tested in a real environment in small businesses in Bamako (Mali), Bobo Dioulasso (Burkina Faso) and Kedougou (Senegal). About activity 4 "drying", the *cross-flow dryer* (CSec-T) and *solar greenhouse dryer* (CSec-S) have been tested in station in Senegal. The CSec-T dryer has a load of about 100 kg capacity and a drying rate from 30 to 35 kg/h (drying of wet fonio from 35% to 10%). A CSec-S dryer of 90 m² equipped with 10 trays ensures the drying of about 300 kg of fonio in 24 h (drying of wet fonio from 35% to 10%). Some of these dryers have been transferred and validated in a real environment in Senegal (cross-flow and solar greenhouse dryers), Burkina Faso (cross-flow dryers) and Guinea (small solar greenhouse dryer).

For WP4 "*Innovation process in small processing industries*", the work done during the last phase of the project helped to deepen the knowledge of key actors and stakeholders in the innovation system of the fonio value chain in Burkina Faso and Mali. The study of innovation "*fonio dehuller GMBF*" revealed significant impact on the whole of the sector and, in the first place, the processors and producers. In Burkina Faso, a multi-stakeholder platform has been implemented in Bobo Dioulasso to support dissemination of the *degitter Hydrolift*" and the *cross-flow dryer CSec-T*. The company SOLDEV, major actor of this platform as supplier, has already manufactured and marketed 5 dryers for processors in Ouagadougou, Bobo Dioulasso and Banfora.

For WP5, coordination organized different workshops for researchers and the annual meetings of the Steering Committee and particularly in January 2015 in Ouagadougou (Burkina Faso), in June 2015 and in February 2016 in Dakar (Senegal) and finally in June 2016 in Montpellier (France). The website of the project (<http://aval-fonio.cirad.fr/>) has been regularly updated. Coordination (Cirad - IRAG publication) published the book "Fonio, an African cereal."

2.2.Activités et résultats

2.2.1. WP1 : Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte

Activité 1.1. Typologie des exploitations productrices et des systèmes post-récolte associés

Cette activité est coordonnée par Dr Béavogui Famoï (IRAG) et réalisée par les agents IRAG sous la supervision de M. Camara Sawa et de la stagiaire Aïssatou Diallo.

✓ *Réalisation d'enquêtes*

Les enquêtes réalisées en 2013 et 2014 dans 6 gros villages du Fouta Djallon ont été étendues, en 2015, aux préfectures de Lélouma et Mali situées respectivement à l'ouest et au nord de Labé. Ces préfectures ont été choisies car la culture du fonio y est très fréquente aussi bien dans les tapades que dans les champs extérieurs. Les enquêtes se sont déroulées dans les villages et les exploitations agricoles.

Tableau 1. Liste des villages enquêtés

Préfecture	Village
Mali	Donghel Sigon et Fougou
Lélouma	Lélouma commune urbaine et Diountou

Les villages sont situés pour la plupart sur coteaux, parfois montagnes, de type gravillonnaire.

✓ *Résultats d'enquêtes*

La culture du fonio est très pratiquée dans les 2 préfectures selon les deux systèmes de production qui sont les « tapades » et les « champs extérieurs ».

- Les tapades². sont les espaces cultivés à l'intérieur des concessions. Contrairement à ce qui a pu être observé dans les préfectures de Labé, Pita, Dalaba et Mamou où le fonio est très peu présent dans les tapades, dans les zones de Mali et de Lélouma, le fonio est très cultivé dans cette partie des exploitations puisqu'il est présent dans 50% des cas. La tapade reste le domaine privilégié des femmes qui y pratiquent surtout des cultures légumières et fruitières. Le fonio y est semé dès les premières pluies (mai à juin) avec des variétés extra-précoces (80 à 90 jours) pour assurer une récolte en période de « soudure ». Selon certains producteurs le fonio est utilisé comme première culture pour marquer l'occupation du sol et limiter le développement des mauvaises herbes. Dans le « système tapade », dès que la fertilité des sols est restaurée au niveau des parcelles, la culture du fonio est abandonnée au profit du maïs ou d'autres cultures vivrières (taro, patate douce, légumes.)



Figure 3 Fonio précoce en tapade dans la préfecture de Mali (© S. Camara, IRAG)

² Tapade : Concession enclose au cœur de l'exploitation agricole au Fouta Djallon en Guinée. Le mot *tapade* est un terme franco-guinéen qui viendrait du portugais *tapar* : fermer.

- Les « champs extérieurs » qui, ailleurs, sont l'apanage des hommes sont ici très cultivés par les femmes qui représentent près de 45% des exploitants. Ces femmes ont pris en charge les exploitations en raison de l'importante immigration des hommes vers les zones minières de Guinée (Fria, Kamsar, Siguiri etc.), le Sénégal, l'Europe ou même les Etats Unis. Les champs extérieurs sont surtout utilisés pour la culture du fonio qui y représente 75 % des superficies cultivées. Le fonio constitue la principale culture de toutes les exploitations devant le maïs, le manioc, l'arachide et le riz pluvial. Comme dans les autres zones du Fouta Djallon, on distingue trois types d'exploitations en fonction des écologies: le fonio de plaine (45 %), le fonio de coteaux (45 %) et le fonio de montagne (10 %).

Fonio de plaine

Cette écologie est essentiellement celle du village de Donghel Sigon qui dispose de grandes étendues homogènes de végétation herbeuse sur des sols acides ($\text{pH} < 5$), pauvres en matières organiques. Il existe dans ce village deux grands domaines de 170 ha et 250 ha clôturés qui, dans un passé récent, étaient cultivés en pommes de terre mais qui sont aujourd'hui consacrés à la culture du fonio. La pomme de terre a été abandonnée en raison des difficultés d'irrigation, d'accès aux intrants et de marché.



Figure 4. Fonio de plaine dans le village de Donghel Sigon (© S. Camara, IRAG)

Sur ces 2 domaines, les producteurs, respectivement 220 (dont 99 femmes) et 475 (dont 285 femmes), sèment des variétés extra-précoces (80 à 90 jours) et semi-tardives (110-130 jours). Les semis, réalisés en juillet, à des quantités moyennes de 50 kg/ha, sont suivis de 2 désherbages en août et septembre. Les récoltes s'échelonnent ensuite d'octobre à novembre avec des rendements voisins de 550 kg/ha. Cette écologie, sur sol pauvre, est caractérisée par la monoculture du fonio durant 5 à 10 ans suivie d'une jachère d'une durée équivalente.

Les travaux de labours, de semis, de désherbage, de récolte et de battage sont principalement manuels et demandent une forte main d'œuvre extérieure (entraide ou emploi des tâcherons).

C'est principalement pour ce fonio de plaine que la mécanisation de la récolte reste concevable.

Fonio de coteaux

Ce système est caractérisé par des sols gravillonnaires bien drainés où le fonio est cultivé au même titre que l'arachide, le manioc et le riz. Il représente 45 % des nouvelles exploitations enquêtées. Sur les exploitations dont la superficie est de 1 à 2 ha, les producteurs sèment le fonio après un ou deux ans de culture de riz.

Après un travail du sol effectué en juin, les semis sont réalisés en juillet à des quantités moyennes de 40 kg/ha et ils sont suivis d'un seul désherbage manuel souvent réalisé par les femmes. En raison de la faible capacité de rétention en eau du sol, les producteurs utilisent des variétés extra-précoces (80 à 90 jours) qui permettent ainsi d'assurer une récolte en période de « soudure ».

Les récoltes s'échelonnent d'août à octobre avec des rendements voisins de 700 kg/ha. La mécanisation du labour et de la récolte est rendue difficile en raison de la présence de pierres et de souches d'arbres dans les champs.



Figure 5. Fonio de coteaux à Fougou (© S. Camara, IRAG)

Fonio de montagne

Ce système est caractérisé par des terrains à forte pente qui ont été défrichés (défriche brûlis de février à avril) pour la culture du riz pluvial, de l'arachide du sorgho et du fonio. Il représente environ 10 % des exploitations enquêtées. Le riz est toujours présent en tête de rotation souvent par le fonio dès la deuxième année.

Sur les exploitations dont la superficie moyenne est de 0,7 ha, les producteurs sèment des variétés extra-précoces (80 à 90 jours) et semi-tardives (110-130 jours). Les semis sont réalisés en juin juillet à des quantités moyennes de 30 kg/ha. Les récoltes s'échelonnent ensuite d'août à octobre avec des rendements qui dépassent souvent les 1000 kg/ha.

Comme pour le fonio de coteau, la mécanisation du labour et de la récolte est rendue difficile en raison des fortes pentes et de la présence de pierres et de souches d'arbres dans les champs. En raison des fortes contraintes rencontrées pour les travaux des champs, cette écologie est dominée par les hommes.



Figure 6. Fonio de montagne dans le village de Fougou (© S. Camara, IRAG)

✓ **Principales observations**

Assolements

Dans les quatre villages des deux préfectures enquêtées, les principaux assolements observés chez les producteurs diffèrent d'un système à un autre comme le montre le tableau 2 suivant :

Tableau 2. Assolements selon les systèmes de culture

Système de culture	Assolement
Tapade	<ul style="list-style-type: none"> • Fonio - arachide - pomme de terre • Maïs - manioc - taro • Manioc - maïs - manioc - maïs - arachide • Fonio - manioc - maïs
Champs extérieurs	<ul style="list-style-type: none"> • Fonio - arachide • Fonio - manioc - maïs - arachide • Manioc - arachide - manioc • Arachide - fonio • Arachide - maïs - fonio

Rotation des cultures

Quelle que soit l'écologie dans le système de champs extérieurs, les producteurs pratiquent la rotation des cultures. Le tableau 3 ci-dessous présente les principaux systèmes de rotation des exploitations enquêtées.

Tableau 3. Systèmes de rotation des cultures selon l'écologie

Ecologie	Systèmes de rotations
Plaines	Fonio-fonio-fonio-fonio durant plus de 10 ans de suite
Coteaux	fonio-fonio-jachère ou Fonio-fonio-jachère ou riz-fonio-fonio-jachère
Montagne	Riz-riz-fonio-jachère ou Fonio-fonio-jachère ou riz-fonio-fonio-jachère

Aspect genre

Contrairement aux observations faites lors des études précédentes où le système de production « champs extérieurs » était dominé par les hommes, les femmes sont très présentes dans la culture du fonio en champs extérieurs dans les Préfectures de Mali et de Lélouma. Elles atteignent 44% contre 56% pour les hommes. Ces femmes sont généralement les épouses d'hommes absents en raison de la forte immigration de cette couche sociale.

Activité 1.2. Principales contraintes auxquelles sont soumis les producteurs et perspectives

La principale difficulté signalée par les producteurs de fonio concerne l'absence totale de stratégie concertée entre les services publics et les acteurs de base. Ils déplorent le manque de structuration de la filière pour laquelle ils ont souvent le sentiment d'être abandonnés sans pouvoir bénéficier d'appuis techniques ou financiers. Les autres principales contraintes rencontrées par les producteurs et identifiées lors des enquêtes concernent d'une part celles qui sont liées à la production et d'autre part celles qui portent sur la récolte et l'après-récolte. Elles sont du même ordre que celles déjà identifiées dans les autres préfectures enquêtées les années précédentes.

✓ Contraintes liées à la production

Les principales contraintes signalées par les producteurs en matière de culture de fonio concernent d'abord la qualité des sols. En plaine, les sols sont considérés comme très pauvres en raison d'une monoculture du fonio pendant 5 à 10 ans de suite. Certains producteurs de la préfecture de Lélouma considèrent que le fonio a besoin d'apport de fertilisants et cultivent alors le fonio après un précédent cultural de pommes de terre. En zones de coteaux et de montagnes la culture est rendue difficile en raison de la déclivité des terrains et de la présence de pierres.

Les mauvaises herbes, l'attaque des oiseaux ou d'animaux sauvages (singes) mais surtout la présence des termites sont des contraintes fréquemment citées par les producteurs de fonio.

La dégénérescence des variétés est aussi un facteur qui contribue à limiter la culture du fonio. Selon certains producteurs, les semences utilisées ne produisent plus que des rendements faibles et près de 80% d'entre eux disent avoir abandonné les variétés tardives à plus de 130 jours de végétation.

Face à l'insuffisance de la main d'œuvre familiale (forte immigration des jeunes) et à la forte pénibilité des travaux d'entretien (labour, désherbage...), les producteurs se plaignent beaucoup de la vétusté des outils agricoles et du faible niveau de la mécanisation agricole.

Enfin, les longues distances à parcourir entre les villages et les champs extérieurs sur des pistes rurales mal entretenues constituent un frein au développement de la culture du fonio.

✓ *Contraintes liées à la récolte*

Dans toutes les exploitations agricoles, la récolte du fonio est encore exclusivement manuelle. Dans les villages enquêtés, cette opération est souvent réalisée par les femmes peuls au moyen d'outils rudimentaires comme la faucille ou le couteau (figure 7).



1- Faucille



2 – Couteau

Figure 7. Outils de récolte du fonio (© S. Camara, IRAG)

Selon les producteurs, la récolte manuelle reste une opération très fastidieuse notamment en raison de la verse du fonio à maturité (figure 8). Par ailleurs le transport et la mise en meule des gerbes avant battage (figure 9) seraient à l'origine de pertes importantes mais non évaluées. Ces différentes contraintes conduisent certains producteurs à réduire les superficies cultivées ou même à abandonner la culture du fonio.



Figure 8. Récolte à la faucille (© S. Camara, IRAG)



Figure 9. Meule de gerbes (© S. Camara, IRAG)

✓ *Contraintes liées à l'après-récolte*

Dans les villages enquêtés, le battage qui consiste à séparer les grains des panicules est généralement réalisé par piétinement ou foulage au pied (figure 10). En prenant appui sur une barre horizontale ou sur des bâtons, les femmes ou les enfants frottent alors les gerbes, une à une, entre leurs pieds pour séparer les grains de la tige.



Figure 10. Battage du fonio par foulage au pied (© S. Camara, IRAG)

Mais les producteurs et notamment les productrices considèrent toujours que l'opération la plus fastidieuse et la plus génératrice de pertes est le décortilage-blanchiment qui reste encore aujourd'hui le principal goulet d'étranglement de la filière. En effet, réalisé au pilon et au mortier par les femmes, le décortilage traditionnel est très peu productif et se limite à quelques kilogrammes de fonio paddy transformés par heure.

Nota : Dans le cadre du projet Aval Fonio, les producteurs du village de Donghel Sigon ont participé aux essais de battage mécanique et un décortiqueur GMBF a été mis à leur disposition pour promouvoir le décortilage mécanique du fonio dans la zone.

De manière générale, les producteurs déplorent le faible niveau de diffusion des équipements de battage, nettoyage et décortilage mis au point par la Recherche au cours de la dernière décennie. L'absence de mécanisation des opérations post-récolte dans la plupart des zones enquêtées oblige de nombreux producteurs à faire appel à une main-d'œuvre extérieure à la famille. Mais cette main d'œuvre est de plus en plus rare en raison de la forte migration des nombreux jeunes vers des bassins d'emplois extérieurs à la région.

Dans le cadre des précédents projets Fonio, la Guinée a bien participé à l'adaptation de la batteuse ASSI et à la mise au point de matériels de nettoyage (crible rotatif et canal de vannage) et de décortilage (décortiqueur à fonio GMBF). Mais la fabrication et la diffusion de tous ces équipements sont quasi inexistantes en Guinée alors qu'ils commencent à être très largement diffusés au Mali, au Burkina Faso, au Sénégal et dans toute l'Afrique de l'Ouest.

✓ *Contraintes liées à la commercialisation*

L'enclavement des grandes zones de production en Moyenne Guinée (Mali, Lélouma, etc.) et le mauvais état des voies de communication (pistes rurales) sont des freins importants à la commercialisation du fonio. Ils génèrent des coûts de transport et de manutention importants pour acheminer le fonio vers les villages où sont organisés les marchés de collecte pour approvisionner le grand marché de Mitty (préfecture de Dalaba). Le manque d'équipements de battage et de transformation (décortiqueurs) ne permet pas aux producteurs de commercialiser autant de fonio décortiqué qu'ils le souhaiteraient.

✓ *Perspectives*

Malgré les différentes contraintes qui pèsent sur les producteurs, nombreux sont ceux qui signalent une augmentation de la production de fonio. Dans les régions enquêtées, ce résultat positif pourrait être dû aux rotations culturales pommes de terre et fonio, au respect du calendrier cultural et à la pratique de jachères de longue durée (5 à 10 ans).

L'amélioration de la production du fonio passe par la mise en place de techniques culturales rationnelles avec notamment un choix de variétés adaptées aux zones écologiques et aux préférences des consommateurs, une bonne préparation des sols avec une utilisation possible d'intrants et enfin un respect du calendrier cultural avec de bonnes rotations de culture.

L'amélioration du transport en milieu rural, devrait aussi permettre aux producteurs d'accroître les quantités commercialisées sur les marchés de collecte.

Mais le plus important est sans doute le développement de la mécanisation de la récolte (lorsqu'elle est possible comme par exemple en zone de plaines) et des opérations post-récolte telles que le battage, le nettoyage et le décortilage-blanchiment. Une meilleure reconnaissance de la filière par des appuis institutionnels et financiers devrait permettre d'encourager les différents opérateurs à mieux valoriser cette céréale emblématique de la Guinée.

2.2.2. WP2 : Mécanisation des techniques post-récolte du fonio

Les différentes actions réalisées dans le cadre de ce workpackage sont placées sous la responsabilité de Thierno Alimou Diallo (IRAG) et Patrice Thaunay (Cirad), co-responsables du WP2 et avec la collaboration de Ousmane Tanou Bah (IRAG).

Activité 2.1 Mécaniser la récolte du fonio

De nouvelles parcelles d'essais ont été mises en culture par l'IRAG en juillet 2015 sur 1 ha avec les variétés Niathia (hâtive), Rané (semi-tardive) et Konso (tardive). Les variétés et la date de semis ont été choisies de manière à ce que la récolte puisse être réalisée en novembre 2014.

La motofaucheuse n°2 (modèle JD 170 F) a été expédiée à l'atelier IMAF de Bamako (Mali) en juillet 2015 pour que des modifications soient apportées au niveau de la barre de coupe. Le retour de la machine au Centre IRAG de Bareng (Guinée) a pris du retard et les parcelles d'essais ont ainsi dû être récoltées manuellement. Les tests de fauchage ont donc été réalisés en milieu réel sur une parcelle de producteur (figure 11). Les essais ont montré que la motofaucheuse coupe les tiges mais ne rejette pas les gerbes sur le côté de la machine. Les pailles s'enroulent autour des hélices et entraînent des bourrages (figure 12). Des études sont donc encore nécessaires pour envisager, à terme, la mécanisation de la récolte du fonio.



Figure11. Test de fauchage mécanisé en milieu paysan (© IRAG)



Figure12. Enroulement des pailles (© IRAG).

Activité 2.2. Adapter des batteuses et des nettoyeurs

✓ Batteuses

La batteuse type Ricefan

Une batteuse type Ricefan (Votex), fabriquée par IMAF (Bamako) en 2014, a d'abord été testée par l'équipe de l'IER/LTA avec les résultats suivants :

- Masse des gerbes : 502 kg ; masse grains battus : 114 kg, temps de battage : 1h36mn

Soit un débit d'environ 310 kg/h en gerbes et 70 kg/h en grains battus. Le produit battu obtenu contenait plus de 20 % d'impuretés diverses comme les pailles et les menues pailles.



Figure13. Essai de la batteuse type Ricefan (© IRAG).

Cette machine a ensuite été livrée à l'IRAG de Bareng en juin 2015 et les tests ont été réalisés en novembre 2015 après la récolte du fonio (figure 13). Les essais de battage ont permis d'obtenir un débit moyen d'environ 73 kg par heure avec 18% d'impuretés et 11 % d'imbattus. Il est à déplorer que cette machine expulse près des $\frac{3}{4}$ des grains au niveau de la sortie paille. Lors du battage la majeure partie des grains est donc entraînée avec les pailles après passage dans le tambour batteur-ventilateur.

Les piètres performances de la machine Ricefan (débit faible, imbattus, grains mélangés aux pailles...) ont convaincu les chercheurs de la nécessité de réhabiliter la batteuse ASSI.

La batteuse Assi

La batteuse ASSI (Adrao, Saed, Sismar, Isra) est une batteuse à riz dérivée des batteuses axiales de type IRRI. Elle est notamment fabriquée au Sénégal par la société SISMAR (Société Industrielle Sahélienne de Mécanique de Matériel Agricole et Représentation) mais également par divers artisans locaux.

Dans le cadre du premier projet fonio, une batteuse ASSI avait été acquise et testée par l'IRAG et le Cirad en 2001. Pour l'adapter au battage du fonio, les modifications suivantes ont été apportées :

- ✓ Changement de la poulie du ventilateur pour réduire la vitesse du ventilateur, remplacement d'une poulie de 100 mm par une poulie de 125 mm, avec montage d'un tendeur pour assurer la tension de la courroie.
- ✓ Réglage de la distance entre les doigts et le contre batteur passé de 10 à 8 mm.
- ✓ Réduction de la longueur de la bielle du sasseur.
- ✓ Modifications du système de nettoyage :
 - Grille supérieure : tôle perforée de diamètre 2 mm, grille rallongée de 450 mm pour dépasser le volet mobile avec une marche assurant une petite chute des produits au passage de la grille principale sur la rallonge,
 - Grille inférieure montage sous le déflecteur inférieur d'un treillis de 1 mm.

Lors des essais réalisés en Guinée en 2001, les performances sur fonio avaient été très bonnes avec un débit moyen variant entre 250 kg/h et 300 kg/h et une excellente qualité de battage.

Dans le cadre du projet Aval Fonio, la remise en état de la machine a consisté à la rééquiper d'un moteur thermique, à remplacer les dents du batteur et à remettre en place un jeu de grilles adapté au fonio. Après des premiers essais réalisés en atelier, la batteuse a été transportée au village de Donghel Sigon (Fouta Djallon) pour effectuer un test de démonstration de fonctionnement en milieu réel.



Figure 14. Essai/démonstration de battage mécanique du fonio à Donghel Sigon (© S. Camara, IRAG)

Les essais de la batteuse ASSI ont permis d'obtenir un débit moyen de 240 kg/h de fonio grains correspondant à plus de 600 kg/h de gerbes. Les bonnes performances de battage ont pu être confirmées car l'essentiel des grains a été récupéré au niveau de la sortie principale avec moins de 2% d'impuretés. La quantité d'imbattus a été estimée inférieure à 5 %. La qualité du battage a été jugée très satisfaisante par les producteurs.



Figure 15. La batteuse ASSI (© S. Camara, IRAG)



Figure 16. Grains battus propres (© S. Camara, IRAG)

Conclusion partielle

La batteuse ASSI peut parfaitement être adaptée au battage du fonio au prix des quelques modifications décrites précédemment. Cette machine robuste permet d'obtenir un débit en grains battus voisin de 250 à 300 kg/h avec une très bonne qualité de battage (peu d'imbattus, peu d'impuretés).

Pour évaluer le coût du battage motorisé avec une batteuse ASSI, une simulation avait été faite en prenant l'hypothèse d'un tonnage d'environ 100 T de fonio battu par an en 90 jours de fonctionnement. Cette simulation avait conduit à un coût de battage d'environ 15 FCFA (0,02 €) par kg de fonio battu.

Suite aux très bons résultats obtenus avec de la batteuse ASSI modifiée, les spécialistes en mécanisation considèrent que la machine est validée pour le battage du fonio et semble, par ailleurs, économiquement rentable notamment dans les conditions guinéennes. Les batteuses sont des équipements relativement chers qui ne peuvent souvent être rentabilisés qu'en prestation de service. Ce matériel doit normalement pouvoir être acquis par des associations villageoises ou des entrepreneurs de travaux à façon.

La machine actuelle, relativement lourde, peut convenir aux zones de plaine facilement accessibles. Pour les zones de montagne, il serait nécessaire d'avoir recours à des batteuses de même type mais de taille réduite pour être plus facilement transportables.

✓ Nettoyeurs

Un **tarare** type Alvan Blanch (figure 17) a été remis en état de marche par l'IRAG en 2013 pour permettre la réalisation d'essais de nettoyage du fonio paddy. Il s'agit d'un équipement comprenant un ventilateur, une trémie et un caisson de nettoyage à mouvements alternés avec deux grilles disposées horizontalement et une troisième grille inclinée qui permet d'éliminer les particules plus petites que les grains (figure 18). Les grains tombent de la trémie sur les grilles horizontales qui sont ventilées par un flux d'air horizontal produit par le ventilateur. Le déplacement du produit sur la table est favorisé par le mouvement alternatif plan des grilles qui provoque en même temps la séparation, les pailles sont entraînées alors que les grains passent au travers des deux premières grilles. Après nettoyage, les produits séparés sont dirigés vers des orifices de sortie qui permettent leur récupération.

En 2014, le matériel a été modifié dans l'atelier de M. Thierno Béla à Labé pour recevoir un châssis permettant l'entraînement de la machine par un moteur thermique. Les essais réalisés à l'IRAG Bareng en 2015 ont permis d'atteindre un débit voisin de 400 kg/h avec une bonne qualité de nettoyage.



Figure 17. Tarare Alvan Blanch (© J-F Cruz, Cirad)

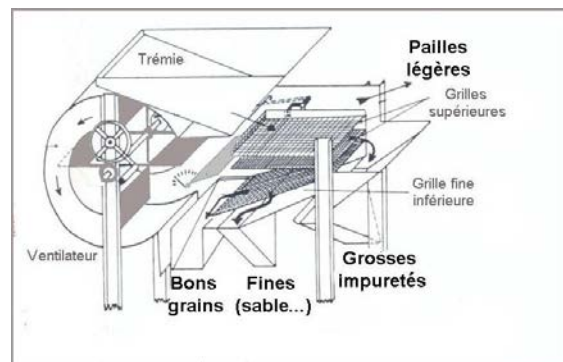


Figure 18. Schéma d'un tarare (© J-F Cruz, Cirad)

Un **canal de vannage** et un **crible rotatif** ont été achetés pour le compte de l'IRAG en 2013. Ces matériels ont été conçus par le Cirad dans le cadre du premier projet fonio. Ils ont été fabriqués par le constructeur IMAF de Bamako (Mali) et ont été livrés au Centre IRAG de Bareng en janvier 2014.

Le canal de vannage est un matériel de nettoyage constitué d'une tuyère verticale avec flux d'air ascendant dans laquelle on introduit, à mi- hauteur, le produit sale à nettoyer. Les particules légères sont entraînées par le flux d'air et récupérées au niveau d'un cyclone (figure 19). Les grains et les particules plus lourdes tombent en partie inférieure du canal. Le canal de vannage peut être utilisé en sortie du décortiqueur GMBF ou seul en l'équipant d'une trémie amovible. Il convient alors au nettoyage du fonio mais également au vannage d'autres céréales.

Le crible rotatif est constitué d'un trommel cylindrique légèrement incliné comportant deux grilles successives (figure 20). Le crible est équipé d'une trémie d'alimentation et peut être entraîné manuellement (manivelle) ou motorisé (moteur électrique).



Figure 19. Canal de vannage (© C. Marouzé, Cirad)



Figure 20. Crible rotatif (© M. Rivier, Cirad)

Les essais réalisés à l'IRAG Bareng ont confirmé les bonnes performances des matériels avec des débits moyens voisins de 400 kg/h.

Conclusion partielle

Le tarare est un matériel de nettoyage classique qui peut parfaitement être utilisé pour le nettoyage du fonio en choisissant des grilles et des débits de ventilation adaptés à cette minuscule céréale. Le tarare est polyvalent et a l'avantage de fonctionner même avec des produits chargés en pailles. Son principe de fonctionnement consistant en un mouvement alternatif des grilles le rend cependant fragile d'utilisation et on lui préfère alors souvent les nettoyeurs rotatifs plus robustes (Cruz et al. 2011).

Suite aux très bons résultats obtenus (débit voisin de 400 kg/h) avec le canal de vannage et le crible rotatif dans le cadre des précédents projets fonio et confirmés par le projet Aval Fonio, les spécialistes en mécanisation considèrent que ces équipements sont validés pour le nettoyage du fonio paddy et peuvent être utilisés pour le nettoyage du fonio décortiqué et blanchi ; le canal de vannage est d'ailleurs souvent accouplé au décortiqueur-blanchisseur GMBF afin de nettoyer le produit après transformation.

Ces deux matériels sont polyvalents et peuvent être utilisés sur d'autres céréales que le fonio. Aujourd'hui ces deux équipements devraient pouvoir être construits par les artisans locaux afin de mieux assurer leur diffusion dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest.

2.2.3. WP3: Amélioration des technologies de transformation et de stabilisation du fonio

Les différentes actions réalisées dans le cadre de ce workpackage sont placées sous la responsabilité de Thierry Goli (Cirad), Cheikh Mouhamed Fadel Kébé (ESP-UCAD) et de Mme Bore Fanta Guindo (IER) co-responsables du WP3.

Activité 3. Mise au point des procédés de lavage et de dessablage du fonio

Cette activité consiste à concevoir, réaliser et tester des maquettes pour le lavage et le dessablage du fonio décortiqué et blanchi.

✓ Mécanisation du lavage

En 2013, un travail de recherche des pistes d'amélioration et d'analyse des fonctions attendues lors de cette opération a été réalisé à partir de l'observation du savoir-faire traditionnel. Le lavage consiste à éliminer les particules étrangères et les sons qui restent collés aux grains de fonio après le décortiquage/blanchiment et le vannage/tamisage. Le brassage du fonio à la main dans de grandes bassines d'eau permet une bonne séparation des sons et des particules légères qui sont évacués avec l'eau chargée surnageante, tandis que les grains et les sables sont récupérés par sédimentation.

En 2014, les tests de lavage ont été réalisés au Mali sur des prototypes de laveurs identifiés par l'IER. Il s'agissait d'un laveur fabriqué par l'équipementier MOD Engineering déjà installé dans une petite entreprise de transformation du fonio « Dado production » à Bamako et de petits laveurs proposés par l'artisan Nana Philomène. Les résultats obtenus avec ces deux laveurs n'ont pas été probants et les équipements n'ont pas été validés.

En 2014 et en 2015, les essais ont porté sur des laveurs rotatifs électriques. L'idée d'utiliser des laveurs rotatifs a été proposée par le Cirad lors de la mission de coordination réalisée à Bamako en mars 2014 et d'une visite effectuée à la Société Ucodal. Cet équipement « type bétonnière » est, en effet, bien adapté à la fonction de brassage nécessitée par le lavage du fonio. Le lavage au moyen de laveurs rotatifs électriques de série a ainsi été testé par le Cirad en atelier pilote à Montpellier (figure 21) et par l'IER à la Société Ucodal à Bamako (figure 22). Ce modèle a été choisi pour sa simplicité, son faible coût et parce qu'il met en œuvre un principe de brassage en excès d'eau proche de celui qui est mis en œuvre lors du lavage manuel traditionnel.



Figure 21. Laveur rotatif au Cirad (© Cruz, Cirad)



Figure 22. Essai du laveur rotatif au Mali (© IER)

Les résultats obtenus en 2014 ont été confirmés en 2015 sur la plateforme agro-alimentaire du Cirad, dans le cadre de la mise au point de la première ligne prototype de lavage-dessablage. Un prélavage de deux minutes, suivi d'un lavage de finition d'une à deux minutes permettent d'obtenir un produit d'une propreté compatible avec les contraintes du dessablage mécanisé en aval. Le niveau de pénibilité est très faible en comparaison du lavage manuel, et les temps de travail ainsi que les quantités d'eau nécessaires sont également à l'avantage du lavage mécanisé.

✓ Mécanisation du dessablage

Le dessablage consiste à éliminer les sables présents dans les grains de fonio blanchi par de nombreuses opérations successives de séparation réalisées à l'aide de calebasses. Pour cette activité, les actions de recherche ont porté sur :

- la mise au point d'une méthode de mesure de la quantité de sable dans un échantillon de fonio,
- la conception et l'expérimentation en laboratoire d'une maquette de dessableur « hydrolift »,
- la réalisation et l'expérimentation en milieu réel de prototypes de dessableurs « hydrolift ».

➤ *Mise au point d'une méthode de mesure de la quantité de sable dans un échantillon de fonio*

La méthode à identifier doit être sensible dans l'intervalle de 0 à 3% de sable et présenter un seuil de quantification de l'ordre de 0,01% (p/p) dans le fonio. En effet, des mesures effectuées par comptage sous loupe binoculaire ont montré que le fonio décortiqué et blanchi avant dessablage contenait environ 3% de sable, tandis que la teneur en sable du fonio dessablé traditionnellement avoisine 0,01% (mesure sensorielle faite sur du fonio commercial).



Figure 23. Grains de sable dans du fonio blanchi (© J-F. Cruz, Cirad)

En 2015 et 2016, le Cirad a poursuivi l'étude de la quantification du sable dans un échantillon de fonio. Plusieurs méthodes ont été testées:

- Calcination à 600°C (laboratoire Cirad)

La méthode consiste à calciner le fonio, puis à reprendre le mélange cendres et sable dans de l'eau pure. Le sable est ensuite pesé. Les essais réalisés ont montré que cette méthode ne permet pas de doser le sable dans un échantillon qui contient moins de 10% de sable, car les cendres forment une croûte indissociable du sable en-deçà. Cette méthode inadaptée a été abandonnée.

- Diffraction aux rayons X (laboratoire Institut Européen des Membranes à Montpellier)

La méthode consiste à analyser les ondes diffractées par la matière microcristalline lors de son exposition à un faisceau de rayons X. Faisant l'hypothèse que le sable est essentiellement constitué de cristaux de silice, l'analyse de la densité et de l'angle de diffraction des rayons X devrait permettre de remonter à la teneur en sable. Les essais réalisés ont montré que la silice est présente sous forme d'amas de très gros cristaux. Cette configuration ne permet pas la quantification de la silice. La méthode a donc été abandonnée.

- Spectrométrie Proche Infrarouge Spir (ou Nirs laboratoire Cirad)

Chaque longueur d'ondes du rayonnement Nirs (0,8 à 2,5µm) qui est dirigé vers l'échantillon de fonio est transmise ou réfléchié selon sa composition. Le traitement du spectre obtenu pourrait permettre, au moyen d'une gamme de calibration, de quantifier la présence de sable, dont on connaît les propriétés d'absorption et de réflexion spécifique. Un premier essai a montré la possibilité de séparer deux groupes de teneurs en sable : seul le groupe de 0 à 0,01% peut être distingué de celui des teneurs de 0,05 à 0,3%, ceci sur une gamme de calibration de teneurs de 0 à 0,3%. Toutefois, il s'est avéré que cela n'est pas suffisant pour classer les échantillons de fonio issus des essais de la maquette de dessablage. En effet, ceux-ci présentent des teneurs en sable compris entre 0 et 0,1% (p/p). Un résultat de dessablage d'une telle qualité est surprenant et il implique, pour mettre au point une méthode Nirs fiable, des essais bien plus conséquents, qui ne rentrent pas dans le cadre du présent projet.

- Méthode par dosage de la silice et détection ICP (laboratoire Cirad)

Des méthodes adaptées au dosage de la silice dans les végétaux et dans les sols ont été testées. Leur principe est une calcination suivie d'une digestion acide ou alcaline. La silice est ensuite dosée en ICP (Plasma à couplage inductif) à 1100°C. Elles n'avaient pas donné de résultats probants pour des teneurs inférieures à 1% de sable, du fait de la nécessité d'évaporer l'acide fluorhydrique. En 2015, les analyses ont été reprises grâce à l'acquisition d'un kit ICP pour l'injection directe des solutions d'acide fluorhydrique. La méthode par solubilisation à froid à l'acide fluorhydrique suivie d'un dosage de la silice par ICP optique a donné des résultats les plus cohérents (figure 24). Cependant, pour les faibles teneurs en sable, la silice apportée par le squelette siliceux du fonio ($\approx 0,14\%$) peut

masquer la silice apportée par le sable. La méthode sera ainsi peu sensible dans la zone de teneurs en sable de 0,01 à 0,1%. Un décuplement de la teneur en sable ne se traduira que par une augmentation de la teneur en silice de 25%. Toutefois la méthode est envisageable.

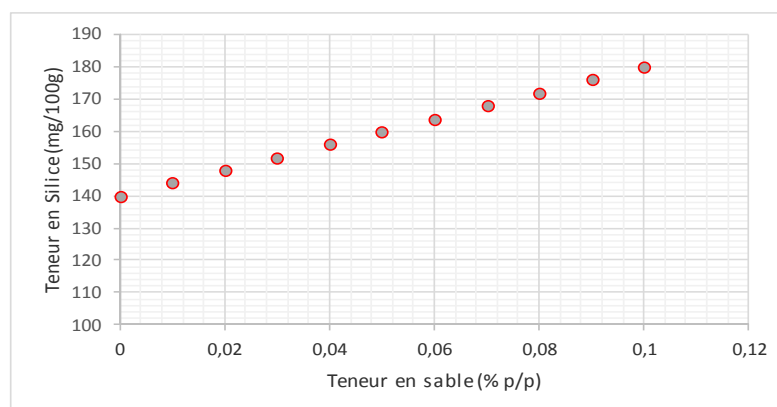


Figure 24. Teneur en Silice dans 100g de fonio, selon la teneur en sable de l'échantillon (© T. Goli, Cirad)

- Méthode par dosage de la silice (laboratoire Cirad)

Des méthodes adaptées au dosage de la silice dans les végétaux et dans les sols ont été testées. Leur principe est une calcination suivie d'une digestion acide ou alcaline, respectivement de la silice ou de la matière organique. La silice est ensuite dosée en ICP (Plasma à couplage inductif) à 1100°C. Elles n'ont pas donné de résultats probants pour des teneurs inférieures à 1% de sable, du fait de la nécessité d'évaporer l'acide fluorhydrique.

- Méthode par analyse sensorielle (laboratoire Cirad)

Cette méthode, testée en 2014, a donné des résultats très concluants. La méthode de détermination de la teneur en sable par dégustation est très sensible et son seuil de détection est très bas (voisin de zéro). Elle n'est pas applicable au-delà de 0,2%. Elle a pu être mise à profit pour les essais de la maquette de dessablage sur la plateforme du Cirad début 2015 (teneurs en sable de 0 à 0,1%).

- Dessablage manuel

Pour l'analyse des quantités de sable résiduel obtenu lors des essais du prototype « hydrolift » en milieu réel, il est plus efficace de réaliser un dessablage manuel des échantillons prélevés car les transformatrices locales ont un grand savoir-faire pour séparer le sable du fonio.

➤ *Conception et expérimentation en laboratoire d'une maquette de dessableur « hydrolift »*,

L'analyse fonctionnelle de l'opération de dessablage réalisée en 2013 avait confirmé la pertinence du principe et de la maquette « Hydrolift » conçue par le Cirad en 2001 dans le cadre du premier projet Fonio. En 2013, une nouvelle maquette d'hydrolift a été fabriquée et testée en laboratoire.

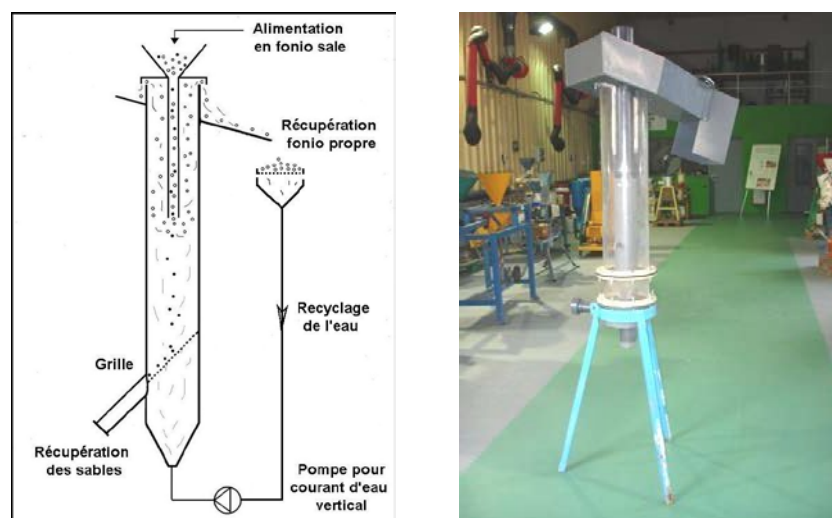


Figure 25. Schéma de principe et maquette de l'hydrolift (© J-F. Cruz, Cirad)

En 2014, différents essais de la maquette ont permis d'ajuster plusieurs paramètres pour optimiser l'hydraulique du système afin d'homogénéiser les débits d'eau dans la colonne de séparation fonio/sable et de réguler l'alimentation en fonio humide.

Sur la base d'essais préliminaires, un plan d'expérience a été défini pour évaluer les performances optimales de l'hydrolift. Il a suivi le protocole suivant :

- Détermination du type de plan (plan factoriel complet 3^2 , avec répétitions du point central)
- Détermination des variables indépendantes influentes et des bornes du domaine expérimental :
 - Débit de fonio : 70 à 130 kg/h de fonio humide
 - Débit d'eau : 60 à 80 l/min.

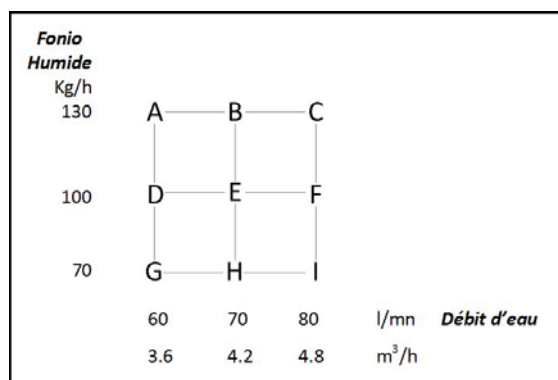


Figure 26. Schéma du plan d'expérience

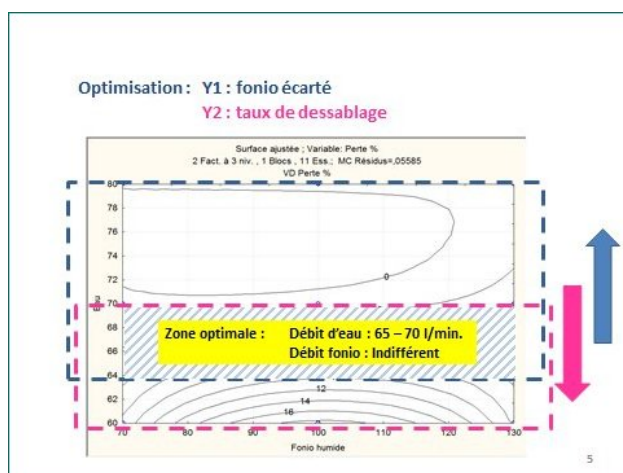
- Détermination des variables réponse :
 - Y1 = fonio « écarté »
 - Y2 = La teneur en sable résiduel dans le fonio déssablé

Les essais ont permis de montrer l'effet prépondérant du débit d'eau dans la colonne de dessablage alors que le débit d'alimentation en fonio n'influe pas sur les réponses, dans notre domaine expérimental. Il faut noter que le facteur principal (débit d'eau) a un effet :

- négatif sur la quantité de fonio écarté (lorsque le débit augmente, la quantité de fonio écarté diminue)
- positif sur la quantité de sable résiduel (lorsque le débit augmente, la quantité de sable dans le fonio déssablé augmente)

Il faut ainsi trouver un compromis, car le facteur débit d'eau, principale variable de réglage de l'hydrolift, présente un effet antagoniste sur les objectifs recherchés qui sont :

- minimiser le fonio écarté : flèche bleue vers le haut (figure 27)
- minimiser la teneur en sable : flèche rose vers le bas (figure 27)



Les zones de réglage optimal des facteurs ont été matérialisées en tirets rose pour la teneur en sable résiduel, et en bleu pour la quantité de fonio écarté.

Figure 27 Courbes d'isoréponses : fonio écarté en fonction des débits d'eau et de fonio humide (© T. Goli, Cirad)

On peut ainsi conclure qu'un débit d'eau intermédiaire, de l'ordre de 65 à 70 l/min est à privilégier dans la conception du prototype à diffuser.

Un essai de validation a montré que pour un débit de 130 kg de fonio humide par heure, et un débit d'eau de 65 à 70 l/min, on obtient les réponses suivantes :

- 0,005 à 0,015% de sable (p/p)
- 5 à 10% de sable écarté dans la sortie destinée au rebut.

➤ *Réalisation et expérimentation en milieu réel de prototypes de dessableurs « hydrolift ».*

- *Prototype « dessableur hydrolift 01 »*

Les bons résultats de dessablage du fonio obtenus en laboratoire avec la maquette expérimentale ont permis d'aboutir à la conception d'un premier prototype (« dessableur hydrolift 01 »). L'équipement a été construit à Montpellier en février 2015 puis a été envoyé à la société IMAF de Bamako pour réaliser le châssis et les périphériques (trémie, auges de récupération...) complétant ainsi l'ensemble du prototype.

L'hydrolift prototype a ensuite été installé à la société Ucodal de Bamako pour y être testé en conditions réelles d'utilisation. Les premiers essais, réalisés en avril-mai 2015 à l'occasion d'une mission Cirad et avec l'appui de chercheurs et techniciens IER, ont permis d'obtenir un débit de fonio d'environ 100 kg/h avec un débit d'eau de 60 l/mn. Le taux de sable résiduel dans le fonio après passage dans l'hydrolift a été mesuré comme inférieur à 200 ppm.



Figure 28. Le dessableur hydrolift et la colonne de dessablage à Ucodal à Bamako (© P. Thaunay, Cirad)

Le suivi du fonctionnement du dessableur a été réalisé avec l'appui de l'IER durant les mois de mai et juin 2015 et de nouveaux essais de dessablage ont été réalisés début juillet 2015 à l'occasion d'une mission Cirad (P. Thaunay) à Bamako pour affiner le réglage du prototype hydrolift et l'intégrer dans la chaîne de production de la société Ucodal. Le dessableur a ainsi permis de traiter 450 à 500 kg de fonio par jour. En 2016, quelques modifications ont été apportées à l'équipement (débitmètre, filtre à eau...) qui ont permis d'améliorer son fonctionnement pour atteindre 500 à 800 kg par jour.

La société Ucodal est très satisfaite de l'équipement qui lui permet de gagner du temps pour cette opération de dessablage. En effet, le dessablage manuel traditionnel de 800 kg de fonio mobilise 18 femmes pour une durée journalière de 9 heures alors que le dessablage de 800 kg de fonio avec le dessableur hydrolift mobilise seulement 10 femmes durant une durée de 8 heures. La main d'œuvre ainsi libérée peut alors être employée à d'autres tâches moins pénibles. La société envisage d'investir dans une seconde machine pour accroître sa production.

- *Prototype « dessableur hydrolift 02 »*

Le suivi des tests en production du dessableur hydrolift 01 a permis d'identifier quelques possibilités d'amélioration et a conduit à la conception d'un second prototype (« dessableur hydrolift 02 »). Ce prototype amélioré a été construit à Montpellier fin 2015 puis envoyé, début 2016, à la société IMAF de Bamako pour la réalisation du châssis et des périphériques.

Le prototype « dessableur hydrolift 02 » a ensuite été installé à la société Danaya Céréales de Bamako pour y être testé en conditions réelles d'utilisation. Le suivi de l'équipement a été réalisé en avril-mai

2016 avec l'appui d'un technicien IER. L'analyse des résultats de suivi montre que le débit de la machine a pu atteindre 130 kg/h, voire 150 kg/h, avec un taux résiduel de sable considéré comme satisfaisant par les opératrices. Intégré dans la chaîne de production de la société Danaya Céréales, le dessableur hydrolift 02 traite actuellement 500 kg de fonio par jour.



Figure 29. Le dessableur hydrolift 02 à Danaya Céréales à Bamako (© P. Thaunay, Cirad)

- *Présérie de 2 dessableurs « hydrolift »*

Les 2 premiers prototypes de dessableurs hydrolift, placés dans 2 PME de Bamako au Mali, ont permis d'obtenir de très bons résultats de dessablage du fonio dans des conditions réelles d'utilisation. Il a alors été décidé de réaliser une présérie de 2 dessableurs hydrolift pour équiper 2 nouvelles PME transformatrices de fonio respectivement au Burkina Faso et au Sénégal.

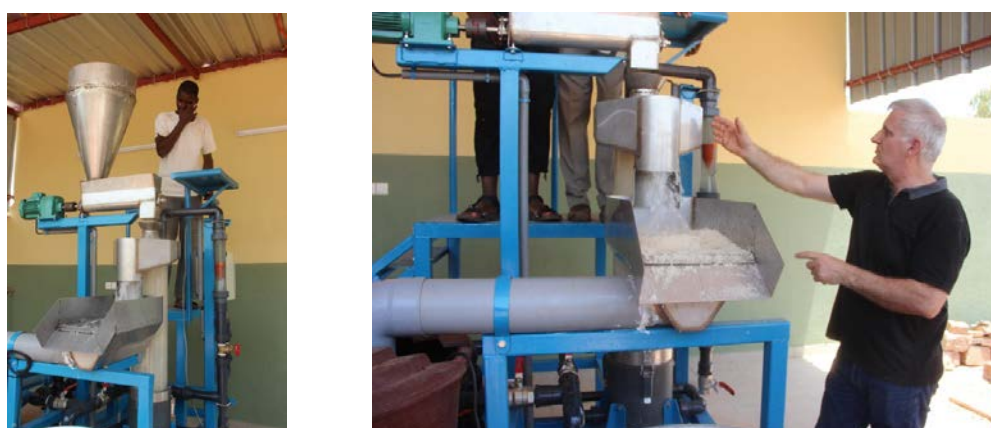


Figure 30. Le dessableur hydrolift à Bobo Dioulasso (© P. Thaunay, Cirad)

La présérie a été réalisée à Montpellier début 2016. Un premier hydrolift a été expédié en mars 2016 à l'entreprise Soldev (fabrication métallique) de Bobo Dioulasso (Burkina Faso) pour réaliser le châssis et les périphériques. A l'occasion d'une mission conjointe Cirad (P. Thaunay, A Delpéch et V. Bancal) et IRSAT (I. Medah et S. Bougma), le premier hydrolift a été installé, en avril 2016, dans la nouvelle entreprise UTF (Unité de Transformation du Fonio) que son promoteur (F.X. Traoré de Bomborokuy) a implanté à Bobo Dioulasso. Intégré dans la chaîne de production, le matériel fonctionne à un débit de 80 à 100 kg/h.

Un second hydrolift a été expédié au Sénégal Oriental en avril 2016. Ce matériel conçu et construit en partie au Cirad à Montpellier et à la société Soldev de Bobo Dioulasso a été envoyé au lycée technique Mamba Guirassy de Kédougou pour réaliser le montage final avec l'appui du Cirad. En mai 2016, le dessableur a été installé dans le GIE "Koba Club" de Kédougou à l'occasion d'une mission Cirad (P. Thaunay, J-P Fleuriot et Mlle V. Bancal).

En conditions réelles d'utilisation, le matériel permet de dessabler le fonio à un débit d'environ 100 kg/h. Intégré dans la chaîne de production du GIE « Koba Club », le dessableur hydrolift traite actuellement 200 kg de fonio par jour mais devrait permettre d'atteindre, à termes, 500 kg par jour.



Figure 31. Installation du dessableur hydrolift à Kédougou au Sénégal Oriental (© V. Bancal, Cirad)

Conclusion partielle

Le dessableur hydrolift répond au cahier des charges que les chercheurs s'étaient fixé en assurant un débit voisin de 100 kg/h et un taux résiduel de sable dans les grains inférieur à 200 ppm. Les opérateurs privés sont également satisfaits des bonnes performances observées en conditions réelles d'utilisation. Les spécialistes en mécanisation considèrent donc que cet équipement est validé pour le dessablage du fonio transformé. Des entreprises locales comme IMAF au Mali et SOLDEV au Burkina Faso ont été formées pour assurer une partie de la fabrication de l'équipement. Etant donnée sa capacité importante, cet équipement est réservé à des petites entreprises susceptibles de traiter annuellement au moins une cinquantaine de tonnes de fonio.

Activité 4. Adaptation et validation de séchoirs pour les PME transformatrices

✓ Construction, adaptation et validation du séchoir à flux traversant CSec-T

Au cours des années 2000, le Cirad a conçu et développé le séchoir à flux traversant CSec-T pour améliorer le séchage de produits alimentaires solides de type granuleux comme les produits roulés (couscous, dégué, arraw...) ou les grains transformés (fonio précuit, sorgho germé...). En 2007, ce matériel a été testé par le Cirad au Mali en collaboration avec l'IER et la PME « Danaya Céréales » (Marouzé *et al.*, 2008). Dans le cadre du projet Aval Fonio, il s'agit de valider scientifiquement les performances de ce séchoir et d'en étudier les possibilités de fabrication locale.

- Principe du séchoir à flux traversant CSec-T

Le séchoir à flux traversant est constitué de 3 compartiments contenant chacun 4 claies superposées (figure 32). Il comprend un générateur d'air chaud (brûleur à gaz) et un ventilateur entraîné par un moteur électrique. Le séchoir est réalisé en bois contreplaqué et l'ensemble générateur d'air chaud est métallique.

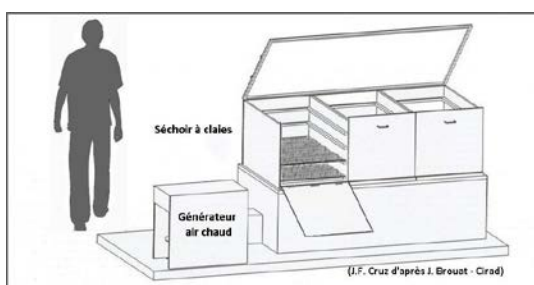


Figure 32. Séchoir CSec-T (© Cruz *et al.*, 2011)

Chaque compartiment est équipé d'une porte qui donne accès aux différentes claies. Les claies sont constituées d'un cadre en bois et d'un grillage métallique galvanisé supporté par des raidisseurs. Chaque claie est recouverte d'un tissu de type voile ou popeline (débordant sur chaque bord de la claie) pour permettre de déposer le produit humide et de le récupérer lorsqu'il est sec.

L'air chaud propulsé par le ventilateur est introduit dans le séchoir par une gaine puis il traverse les différentes claies de bas en haut permettant ainsi le séchage du produit.

Le principe du séchoir à flux traversant CSecT est de créer un mouvement à contre-courant entre d'une part, le flux d'air chaud qui progresse de bas en haut dans chaque compartiment et d'autre part, le

produit qui est progressivement déplacé de haut en bas par étapes depuis la position 4 des claies jusqu'à la position 1 (figure 33). En fonctionnement continu, le produit humide est étalé sur une claie qui est placée en position supérieure (4) dans le séchoir. Une fois le cycle terminé, le produit sec est retiré de la position 1.

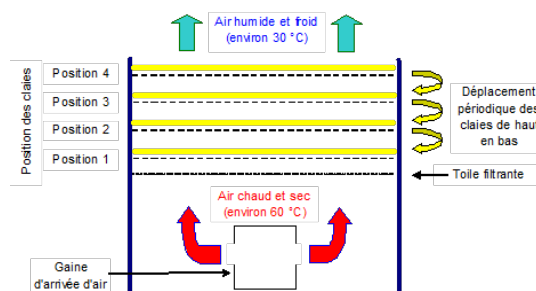


Figure 33. Schéma de principe du séchoir à flux traversant (© C. Marouzé, Cirad)

- Construction, instrumentation et essai du séchoir CSec-T

Au cours de l'année 2014, un séchoir à flux traversant en bois a été fabriqué à Dakar selon les plans de fabrication fournis par le Cirad et avec l'appui du département Génie Mécanique de l'ESP (figure 34).



Figure 34. Séchoir CSec-T fabriqué à Dakar (© ESP)

Pour la réalisation des essais, le séchoir CSec-T a été instrumenté avec les éléments suivants:

- capteur de mesure de la température en sortie du ventilateur,
- capteur de mesure de la température sous chacune des claies inférieures,
- thermo-hygromètre portable (mesure air ambiant et en sortie des colonnes de séchage),
- balance de pesée de la bouteille de gaz pour mesure de la quantité de gaz consommée.
- peson (sur portique) pour la pesée de claies témoins

Les essais de validation du séchoir CSec-T ont été réalisés à l'ESP-UCAD en mars 2015 à l'occasion d'une mission d'appui du Cirad (M. Rivier). Ces essais ont porté sur le séchage de 90 kg de fonio précuit réhumidifié jusqu'à 35%. (soit 6 kg de fonio humide sur chacune des 12 claies du séchoir avec un seul renouvellement sur les claies supérieures.)

La température de l'air ambiant, environ 25°C, est portée à 45°C par passage au brûleur. Le produit des claies inférieures, à l'attaque de l'air chaud, a été séché après 2h45 de fonctionnement et le séchage total du lot a été réalisé après 5h40. La vitesse de l'air de séchage au niveau des grains ne doit pas dépasser 0,2 m/s pour éviter l'envol des grains en fin de séchage.

La quantité d'eau évaporée au cours du séchage a été mesurée égale à 23,85 kg et la consommation en gaz butane a été de 2,9 kg. En considérant un PCI du gaz butane de 45 600 kJ/kg la quantité d'énergie consommée au cours de l'essai a donc été de 132 240 kJ. En rapportant cette valeur à la quantité d'eau évaporée, on obtient alors une consommation thermique spécifique de 5545 kJ par kg d'eau évaporée (soit environ 1540 kWh par tonne d'eau évaporée).

Dans les conditions de l'essai et en considérant une chaleur latente de vaporisation de l'eau de 2500 kJ/kg d'eau évaporée, le rendement énergétique du séchoir CSec-T a été d'environ 45%.

Ces essais montrent que le séchoir CSec-T a permis d'obtenir un assez bon rendement de séchage malgré des conditions d'utilisation qui n'étaient pas optimales puisque le séchoir n'a été rechargé qu'une seule fois en produit humide. En conditions normales d'utilisation, avec un séchoir pleinement rempli on peut sans doute espérer un rendement énergétique supérieur à 50 % (consommation thermique spécifique inférieure à 5000 kJ/kg d'eau évaporée) alors que les séchoirs classiquement

utilisés en convection naturelle (du type séchoir Atesta) ont un rendement énergétique souvent inférieur à 20 % (consommation thermique spécifique supérieure à 12 500 kJ/kg d'eau évaporée).

Dans les conditions de l'essai, le séchoir CSec-T a permis de sécher du fonio précuit de 35% à environ 10% à un débit de 30 à 35 kg/h. avec une nécessité de manutention des claies toutes les 30 à 40 mn. Pour améliorer les performances du séchoir (diminution du temps de séchage), il apparaît nécessaire d'accroître la puissance du brûleur (jusqu'à 8 kW) pour atteindre des températures d'air chaud de l'air à l'attaque du produit de 60 à 65°C.

- *Transfert du séchoir CSec-T en milieu réel au Sénégal Oriental*

A la fin de l'année 2015, le séchoir à flux traversant CSec-T, fonctionnant au gaz, a été transféré à Salémata (Sénégal Oriental). Le séchoir a été installé pour bénéficier à un regroupement de 10 GIE de femmes transformatrices de fonio.



Figure 35. Séchoir CSecT à Salémata (© ESP-UCAD)



Figure 36. Formation des opératrices (© ESP-UCAD)

Après avoir réalisé deux jours de démonstration qui ont permis de sécher environ 150 kg de fonio précuit, le Responsable du projet Aval Fonio au Sénégal (C. M. F. Kébé) a formé les femmes à l'utilisation du séchoir à fonio. Les transformatrices, très enthousiastes et motivées, ont continué à utiliser le séchoir et à transmettre les informations recueillies (quantités séchées, consommation en gaz...) à l'ESP-UCAD de Dakar.

- *Transfert du séchoir CSec-T en milieu réel au Burkina Faso*

Comme prévu lors de l'atelier Aval Fonio à Dakar en juin 2015, un séchoir à flux traversant CSec-T a été construit à Bobo Dioulasso en novembre 2015 par l'entreprise SOLDEV (M. Ouattara) avec la supervision d'un technicien du Cirad (A. Delpech) et sous l'égide des responsables (T. Ferré et I. Medah) du WP4 "Processus d'innovation dans les petites agro-industries de transformation du fonio". Puis un second séchoir a été fabriqué en mars 2016.

Une session de formation à l'utilisation des séchoirs CSec-T a été réalisée à Bobo Dioulasso pour une quinzaine de transformatrices et transformateurs de fonio de l'Ouest du Burkina Faso et de Ouagadougou. Elle a été organisée, en mars 2016, à l'IRSAT de Bobo Dioulasso et assurée par les chercheurs et techniciens du Cirad (T. Ferré et A. Delpech), de l'IRSAT (I. Medah), de l'ESP-UCAD (A. Diallo) et en collaboration avec l'ONG Afrique verte Burkina - Aprossa (Mme M. L. Dipama).



Figure 37. Formation à l'utilisation des séchoirs CSecT à Bobo Dioulasso au Burkina Faso (© T. Ferré, Cirad)



Un manuel d'utilisation du séchoir CSec-T a été élaboré pour aider à la formation des opérateurs :

Cruz J-F., Rivier M., Ferré T., Delpech A., Diallo A., Kebe C.M.F. 2016. Manuel d'utilisation du séchoir CSec-T. Projet Aval Fonio, livrable 3.4.7. Cirad. Montpellier. 7 p.

Durant la session de formation, un essai de fonctionnement a été réalisé dans les conditions suivantes : Le séchoir CSecT a été chargé de 55 kg de fonio blanchi précuit humide (humidité d'environ 35%) selon une répartition sur les claies illustrée par la figure 38 et précisément: 5 kg de fonio humide sur chacune des 9 claies inférieures et 3,3 à 3,4 kg sur les claies supérieures.

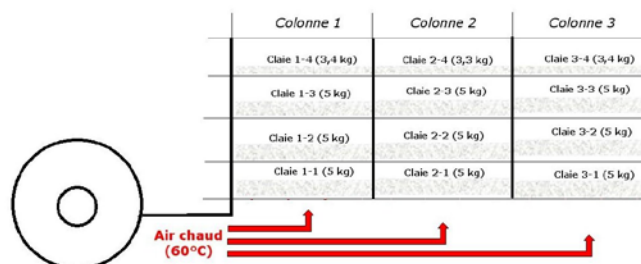


Figure 38. Schéma de chargement du séchoir CSecT (© J-F Cruz, Cirad)

La température de l'air chaud à la sortie du ventilateur a été maintenue à 60°C. La température d'attaque du produit a été observée comme homogène sur les 3 compartiments du séchoir.

Une heure après le démarrage du séchoir, les claies du niveau bas ont été pesées pour apprécier l'évolution du séchage. Les valeurs ont été relevées : C1.1 : 3,5 kg ; C1.2 : 3,4 kg ; C1.3 : 3,5 kg. Ces différents valeurs montrent qu'après une heure de séchage le fonio des claies du niveau bas est sec. On constate qu'il a même été légèrement surséché car la masse finale de 5 kg de fonio humide à 35 % et séché à 10 % devrait être de 3,61 kg (sauf si l'humidité initiale du produit était supérieure à 35 %). Après permutation des claies, toute la quantité de fonio (55 kg) a été séchée en 2h20min. La pesée de la bouteille de gaz donne la quantité de gaz consommée sur la durée de l'essai : 1,5 kg de gaz en 2h20min.

Avec un pouvoir calorifique inférieur (PCI) du gaz butane de 45600 kJ/kg, la puissance du brûleur est calculée ainsi: Puissance calorifique dégagée : $45\,600 \times 1,5 = 68\,400$ kJ ou 19 kWh soit pour une durée de séchage de 2h20 mn une puissance du brûleur de : $19 / 2,33 = 8,1$ kW

Au cours de l'essai, la quantité totale d'eau extraite du fonio par séchage a été de 16,1 kg. La quantité d'énergie apportée par kg d'eau évaporée est donc de : $68400/16,1 = 4248$ kJ/kg. Avec une chaleur de vaporisation de l'eau de 2500 kJ par kg d'eau évaporée, la consommation théorique d'un séchoir (à 100% de rendement) aurait dû être de : $2500 \times 16,1 = 40\,250$ kJ. Or la consommation a été de 68 400 kJ donc le rendement énergétique du séchoir CSecT a été de $40\,250 / 68400 = 59$ %.

Ce rendement, est meilleur que celui de 45% observé lors des essais réalisés à Dakar en mars 2015 (voir page 22) car la température d'attaque de l'air chaud a été maintenue à 60 °C alors qu'elle n'était que de 45°C dans l'essai de Dakar. Ce rendement de 59 %, déjà excellent, pourrait encore être amélioré en augmentant la quantité de fonio à sécher et donc en rajoutant des claies humides lorsque les claies du bas sont sèches et vidées. A titre de comparaison, on peut rappeler que les rendements couramment observés avec les séchoirs à claies classiques type Atesta ne sont que d'au mieux 20 %.

Les 2 séchoirs CSec-T ont ensuite été installés dans 2 PME transformatrices de fonio pour y être suivis en conditions réelles d'utilisation. Ces 2 PME, « Tout Super » à Toussiana et EOBA à Ouagadougou, ont été sélectionnées car elles ont toujours étroitement collaboré avec les chercheurs travaillant pour l'amélioration de la filière fonio en Afrique de l'Ouest.

Conclusion partielle

Le séchoir CSecT répond au cahier des charges que les chercheurs s'était fixé en assurant une capacité de chargement d'environ 100 kg et un débit de séchage de 30 à 35 kg/h pour sécher du fonio humide transformé (blanc ou précuit) de 35% à 10%. En utilisant une température d'attaque de l'air chaud voisine de 60 °C (puissance du brûleur de 8 kW), il permet d'atteindre un rendement énergétique voisin de 60% nettement supérieur à celui de 20 % obtenu avec les séchoirs artisanaux en convection naturelle (type Atesta). Les opérateurs privés qui ont pu utiliser les séchoirs CSec-T sont satisfaits des bonnes performances observées en conditions réelles d'utilisation. Les spécialistes en mécanisation considèrent donc que cet équipement est validé pour le séchage du fonio transformé (blanchi et/ou précuit). Une entreprise locale comme SOLDEV au Burkina Faso a été formée pour assurer la fabrication de l'équipement.

✓ **Conception, adaptation et validation du séchoir « serre solaire » CSec-S**

- **Principe du séchoir « serre solaire » CSec-S**

Au cours des années 2000, un séchoir « serre solaire » CSec-S a été conçu par le Cirad et testé au Mali (figure 39). Dans le cadre du projet Aval Fonio, il s'agit de valider scientifiquement les performances d'un tel séchoir et d'en étudier les possibilités de développement local.

Le séchoir serre constitue une alternative au séchage solaire direct. Le séchage du produit est obtenu par rayonnement direct du soleil sur le produit et par effet de serre (température plus élevée à l'intérieur de la serre qu'à l'extérieur). L'objectif est de réaliser un séchage à une température relativement basse en utilisant le rayonnement solaire comme source de chaleur.

Le séchoir serre a été conçu pour :

- d'une part, protéger les produits à sécher (fonio ou autres produits) des intempéries, des oiseaux et des poussières de l'air extérieur,
- d'autre part, réduire la manipulation du produit. En effet, par comparaison au séchage naturel au soleil, il n'est pas nécessaire de rentrer les produits à l'arrivée des pluies ou le soir si les produits ont été mis à sécher dans le courant de la journée.

Le séchoir serre se compose simplement d'une structure en tubes métalliques supportant un film plastique. La structure repose sur une dalle en maçonnerie. Le pignon avant est percé d'une porte et de fenêtres d'aération. Le pignon arrière du séchoir est équipé d'un ou plusieurs ventilateurs axiaux qui assurent le renouvellement de l'air du séchoir et, abaissant la température, permettent aux opératrices d'intervenir dans le séchoir dans le courant de la journée pour remuer les produits.



Figure 39. Séchoir « serre solaire » CSec-S installé par le Cirad au Mali en 2006 (© J-F Cruz, Cirad)

Le séchoir serre est équipé de claies recouvertes d'un tissu (type voile ou popeline) sur lesquelles le fonio humide est étalé en couche mince. Il est normalement possible de sécher 300 kg à 400 kg de fonio précuit avec ce modèle de séchoir.

- **Construction et instrumentation d'un séchoir CSec-S expérimental au Sénégal**

Sur la base du cahier des charges établi en 2013 avec le Cirad, deux exemplaires du séchoir « serre solaire » CSec-S ont été commandés à la société FilClair (Marseille, France) en 2014. Ces équipements ont été livrés au Sénégal et un des séchoirs « serre solaire » CSec-S a été monté sur le site de l'ESP-UCAD à Dakar par le département Génie Mécanique (A. Anne) à la fin de l'année 2014 (figure 40).

Le séchoir serre est constitué d'une serre agricole d'une surface d'environ 90 m² (14 x 6,4 m) et d'un volume de 200 m³ (figure 41).



Figure 40. Vue du séchoir CSec-S (© T. Ferré, Cirad)

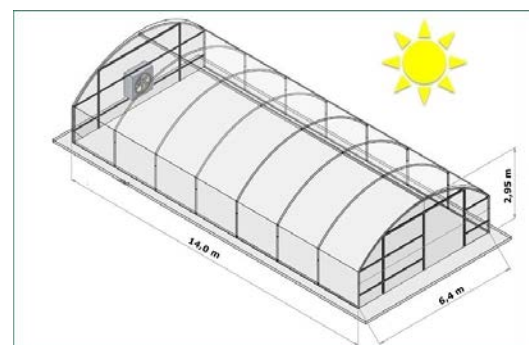


Figure 41. Schéma du séchoir « serre solaire » (© ESP)

Le séchoir « serre solaire » CSec-S est équipé de 8 claies rectangulaires suspendues aux arceaux de la serre. Les claies sont en bois avec fond en treillis métallique recouvert d'un tissu type voile ou popeline pour recevoir le fonio étalé en couche mince (figure 42). Les dimensions des claies sont de 2,5 m x 1,5 m (avec séparation en 4 zones représentant une surface utile de 3,5 m²).

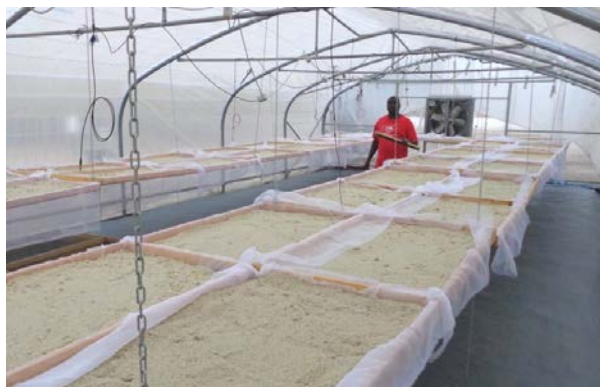


Figure 42. Fonio en couche mince sur les claies de séchage (© M. Rivier, Cirad)

Les instrumentations de la serre solaire (sondes thermométriques, sondes hygrométriques, centrales d'acquisition...) ont été installées l'occasion d'une mission d'appui de la société Sirea (L. Biau) effectuée en janvier 2015.

Le séchoir serre est équipé de l'instrumentation suivante :

- treize capteurs thermomètre-hygromètre répartis dans tout le volume de la serre,
- un pyranomètre de mesure du rayonnement solaire, positionné sur un mat à l'extérieur de la serre,
- une centrale d'acquisition des données relevées par les capteurs et le pyranomètre.

- Essais de validation du séchoir expérimental CSec-S au Sénégal

Deux essais préliminaires de validation du séchoir expérimental CSec-S ont été réalisés à l'ESP-UCAD en mars 2015 à l'occasion de la mission d'appui du Cirad ³. Ces essais ont été réalisés sur produit modèle (serpillères imbibées d'eau puis fonio précuit réhumidifié à 30 % sur 2 des 8 claies).

Les résultats des essais montrent qu'au cours du séchage, la quantité d'eau évacuée a été légèrement supérieure à 1 kg/m² de surface de claies. Les pesées des témoins ont également permis de constater une très bonne homogénéité de séchage pour les différentes claies.

Les températures et les humidités dans la serre ont été relevées durant toute la durée de l'essai et leur évolution est présentée en figure 43.

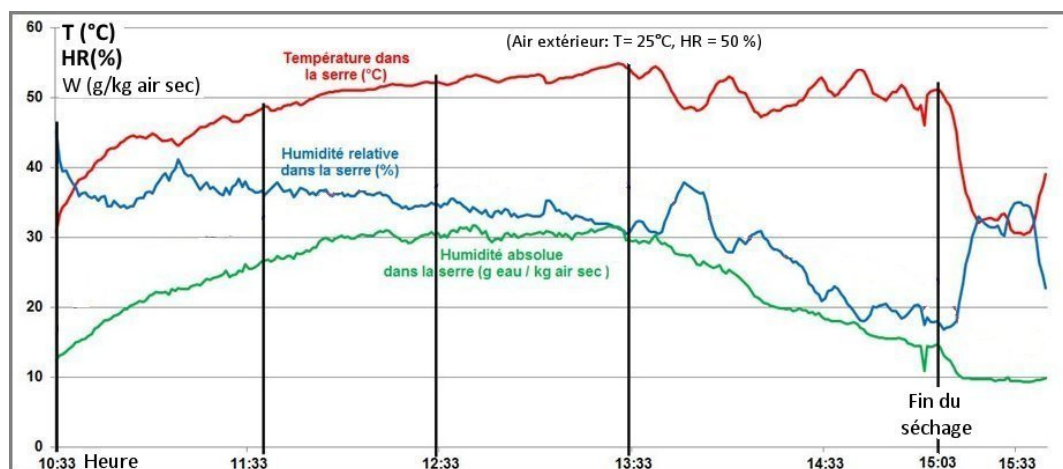


Figure 43. Suivi des températures et des humidités de l'air dans la serre au cours d'un essai (© M. Rivier, Cirad)

³ Rivier M. 2015. Essais de validation des séchoirs à flux traversant (CSec-T) et « serre solaire » (CSec-S). Projet Aval Fonio. Cirad, Montpellier, France. 20 p.

On note que la température dans la serre atteint une valeur supérieure à 50°C (avec un maximum à 55°C) pour une température moyenne de l'air extérieur de 25°C. L'humidité absolue de l'air dans la serre est passée de 12 g d'eau / kg d'air en début de séchage à une valeur de 30 g d'eau / kg d'air au cours du séchage pour diminuer ensuite en fin de séchage. On peut s'interroger sur cette diminution d'humidité absolue de l'air de la serre en fin de séchage qui pourrait être due à une entrée d'air parasite ou à une stratification de couches d'air plus ou moins humides dans la serre.

Un troisième essai de séchage en vraie grandeur a été réalisé en juin 2015 lors de la réunion Aval Fonio de Dakar. Il a porté sur le séchage de 315 kg de fonio précuit humide (a priori 35 %) répartis en couche mince sur 10 claies (ou 35 m²) comme illustré en figure 44. Le chargement des claies a eu lieu le 10 juin à 20h00.

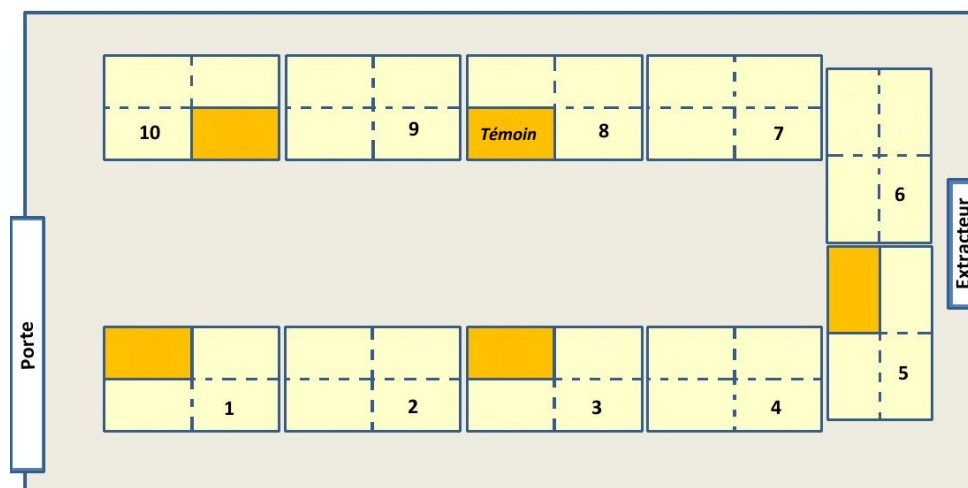


Figure 44. Schéma de la disposition des claies de séchage dans le séchoir CSec-S (© M. Rivier, Cirad)

L'essai de séchage a été arrêté le 11 juin à 16h30 soit après 20h30 de séjour du fonio dans la serre et approximativement 9h d'ensoleillement effectif. Des pesées périodiques de claies témoins ont permis de vérifier une bonne homogénéité de séchage sur les différentes claies.

La quantité de fonio récupérée a été pesée égale à 210 kg de fonio sec. Ce sont donc 105 kg d'eau qui ont été éliminés au cours du séchage. Si l'on considère que le fonio séché est à une humidité de 10 % (soit 189 kg de matière sèche et 21 kg d'eau), cela signifie que le fonio précuit humide contenait 189 kg de matière sèche et 126 kg d'eau et que son humidité initiale était donc de 40 % (opération de précuisson peut être mal contrôlée ?). Ou alors, si l'on part d'une humidité initiale plus élevée (par ex. 37 %), cela signifie que le fonio a été séché de manière excessive jusqu'à une humidité de 5,5 %.



Figure 45. Essai de séchage du fonio en serre solaire à Dakar (© J-F Cruz, Cirad)

- *Transfert du séchoir CSec-S en milieu réel au Sénégal*

Un séchoir «serre solaire» CSec-S a été transféré au GIE Koba Club de Kédougou au Sénégal Oriental à la fin de l'année 2015. En octobre 2015, une mission ESP-UCAD⁴ a été effectuée pour accompagner les travaux de génie civil réalisés par l'entreprise CSBAT (Compagnie Sénégalaise du bâtiment et des travaux publics) sous la houlette de son Directeur Technique (D. Gouba). Puis, la mise en place du séchoir «serre solaire» a été réalisée, en décembre 2015, par une mission ESP-UCAD (C.M.F. Kébé, A. Anne, A. Diallo...) et CSBAT (D. Gouba).



Figure 46. Le séchoir serre solaire CSec-S au GIE *Koba Club* de Kédougou au Sénégal (© A. Diallo, ESP/UCAD)

Des premiers essais de fonctionnement ont permis de sécher environ 250 kg de fonio précuit.

Puis un suivi du séchage (utilisation de 8 claies) a été réalisé du 7 au 24 janvier 2015 par le GIE Koba club qui a ainsi fourni les données suivantes au projet Aval Fonio (tableau 4)

Tableau 4. Suivi de séchage du fonio dans le séchoir CSec-S au GIE Koba Club.

N°	Date entrée	Heure	Fonio humide (kg)	Date sortie	Heure sortie	Durée de séchage	Durée ensoleillement	Fonio sec (kg)	Quantité eau extraite (kg)
1	7/01/2016	19h00	108	8/01/2016	13h30	18h30	6h15	77	31
2	8/01/2016	18h05	175	9/01/2016	15h10	21h05	7h55	126	49
3	9/01/2016	18h40	150	10/01/2016	15h00	20h20	7h45	108	42
4	11/01/2016	17h50	185	12/01/2016	14h40	20h40	7h25	130	55
5	12/01/2016	18h20	155	13/01/2016	15h30	21h10	8h15	102	53
6	13/01/2016	18h20	166	14/01/2016	15h10	20h50	7h55	108	58
7	14/01/2016	18h10	182	15/01/2016	14h20	20h10	7h05	124	58
8	15/01/2016	19h00	168	16/01/2016	14h00	19h00	6h45	119	49
9	16/01/2016	19h15	119	17/01/2016	15h55	20h40	8h40	87	32
10	18/01/2016	18h30	157	19/01/2016	14h30	20h00	7h15	110	47
11	19/01/2016	19h30	182	20/01/2016	14h15	18h45	7h00	129	53
12	20/01/2016	18h35	189	21/01/2016	16h20	21h45	9h05	132	57
13	21/01/2016	18h30	123	22/01/2016	14h10	19h40	6h55	96	27
14	23/01/2016	19h10	153	24/01/2016	15h30	20h20	8h15	107	46
15	24/01/2016	18h30	267	25/01/2016	17h30	23h00	10h15	192	75

En reprenant les données du tableau et en supposant que l'humidité finale du fonio séché est voisine de 10 %, on se rend compte, par le calcul, que l'humidité initiale du fonio précuit placé dans la serre est, en moyenne, certainement plus proche de 35 % que de 30 % ! (lignes 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 et 15)

Pour les lignes 5 et 6 (séchages des 12 et 13 janvier), l'humidité initiale du produit devait sans doute être voisine ou supérieure à 40 % alors que pour la ligne 13, (séchage du 21 janvier), l'humidité initiale était sans doute plus proche de 30 %.

On remarque (ligne 15) que l'opératrice a pu sécher 267 kg de fonio humide (de 35% à 10 %) en 23h de durée de séchage mais surtout en 10h15 de rayonnement solaire. Ce séchage correspond à une charge de plus de 33 kg de fonio humide par claie (267 kg répartis sur 8 claies). Cette charge est excessive car la charge par claie ne devrait pas dépasser 30 kg (ce qui correspond à environ 8,5 kg /m²).

⁴ A. Diallo. Implantation du séchoir solaire CSec-S. Rapport de mission à Kédougou.). Projet Aval Fonio. Cirad, ESP-UCAD, Dakar, Sénégal. 10 p.

On note enfin que le GIE Koba Club charge le séchoir en fonio humide, le soir après 18h. Cette pratique n'est pas idéale car le séchoir se retrouve ainsi rempli d'une grande masse de produit humide à une heure de la journée où le rayonnement solaire est négligeable. Il s'en suivra ensuite une période d'une quinzaine d'heures (nuit et petit matin) durant laquelle la température dans la serre s'abaisse et peut entraîner des risques importants de condensation (et éventuellement de fermentation) avant que le rayonnement solaire ne redevienne efficace (vers 10h du matin). Il serait donc nécessaire de modifier le programme de travail du GIE de manière à ce que le chargement du séchoir ait lieu le matin entre 11h et 12h afin de profiter pleinement du rayonnement solaire.

A l'occasion des essais expérimentaux réalisés à Dakar en mars 2015, le rayonnement solaire sur la serre (exprimée en W/m^2), a pu être relevé au pyranomètre. La courbe représentée en figure 47 montre que le rayonnement solaire est surtout efficace ($> 600 \text{ W/m}^2$) entre 10h et 16h avec un maximum proche de 1000 W/m^2 vers 13h.

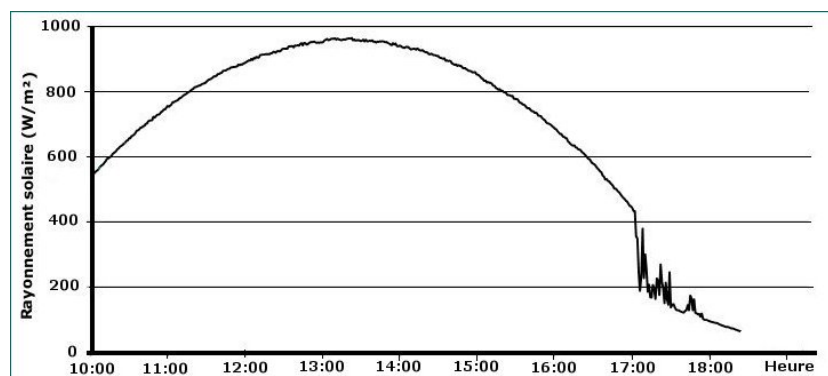


Figure 47. Rayonnement solaire sur la serre au cours d'une journée (© M. Rivier, Cirad)

Pour une température extérieure d'environ 30°C , la température dans la serre peut atteindre 55 à 60°C . Cette température peut rapidement être abaissée par la mise en route de l'extracteur pour permettre, au besoin, aux opérateurs de charger ou de vider le séchoir dans des conditions de température moins éprouvantes.

Conclusion partielle

Le séchoir serre solaire CSec-S de 90 m^2 équipé de 10 claies ou plus répond au cahier des charges que les chercheurs s'était fixé en assurant une capacité de chargement d'environ 300 à 350 kg pour sécher du fonio humide transformé (blanc ou précuit) de 35% à 10% en 24h. Les opérateurs privés qui ont pu utiliser les séchoirs CSec-S sont satisfaits des bonnes performances observées en conditions réelles d'utilisation. Pour assurer une utilisation plus rationnelle du séchoir serre solaire, il faut recommander un chargement du séchoir le matin entre 11h et 12h afin de profiter pleinement du rayonnement solaire pour garantir un séchage efficace et une stabilisation rapide du fonio. Les spécialistes en mécanisation considèrent donc que cet équipement est validé pour le séchage du fonio transformé (blanchi et/ou précuit). La diffusion de ce type de séchoir est à promouvoir auprès d'unités de transformation agroalimentaires car il est polyvalent et devrait pouvoir être utilisé sur différents types de produits agricoles. Les PME visées doivent cependant de disposer d'un espace suffisamment grand et dégagé pour permettre son implantation.

Nota : Implantation d'un séchoir type « serre solaire » en milieu réel en Guinée.

Lors de la réunion annuelle de Dakar de février 2016, l'IRAG a souhaité que des résultats du projet Aval Fonio en matière de séchage puissent bénéficier à certains opérateurs en Guinée. La coordination a alors proposé l'idée d'installer un petit séchoir serre dans la communauté rurale de Pilimini (préfecture de Koubia). Dans ce village du Fouta Djallon un groupement de femmes souhaite développer son activité de transformation du fonio pour mieux valoriser cette céréale en produisant du fonio précuit (forme de fonio transformé peu répandue en Guinée). Le groupement est appuyé par l'ONG Franco-guinéenne ADESAG qui œuvre pour le développement de l'entrepreneuriat solidaire en Guinée et qui a déjà équipé le groupement d'un décortiqueur-blanchisseur GMBF.

Dans un premier temps, les quantités transformées par les transformatrices étant encore relativement faibles (quelques dizaines de kg), il a été convenu que le séchoir serre solaire de marque Filclair était surdimensionné et qu'il était nécessaire de rechercher un séchoir d'une vingtaine de m² seulement.

Le choix a porté sur une serre de la marque Tonneau (type 5^{ème} saison) ayant les caractéristiques suivantes : Longueur : 4,5 m, largeur : 5 m, hauteur : 2,37m. La serre est constituée d'une armature en acier galvanisé avec une couverture transparente en PVC armé. Etant donnée sa petite taille, la serre n'est pas équipée d'un extracteur d'air mais simplement d'une porte sur chacun des pignons afin de faciliter le courant d'air pour permettre une aération naturelle

A Pilimini, la serre a été installée sur une dalle carrelée réalisée par les bénéficiaires.



Figure 48. Le séchoir serre solaire (marque Tonneau) à Pilimini en Guinée (© H. Baldé, Adesag)

2.2.4. WP4: Processus d'innovation dans les petites agro-industries de transformation du fonio

Le WP4 vise d'abord à produire des connaissances sur les processus d'innovation qui engagent les petites entreprises de transformation du fonio. Il vise également à concevoir un dispositif de co-conception de technologies de transformation et de stabilisation du fonio (lavage, dessablage, séchage) impliquant aux côtés des chercheurs du WP3, les acteurs de terrains (équipementiers, utilisateurs potentiels, structures d'appui...) parties prenantes du processus d'innovation.

Activité 5.1. Identifier les acteurs du système d'innovation de la transformation

Cette activité s'est principalement déroulée au cours des années 2013 et 2014.

Au Burkina Faso, deux études sur les équipementiers des villes de Ouagadougou et Bobo Dioulasso ont été réalisées. Ces travaux ont permis de caractériser ces acteurs mais également d'identifier des partenaires potentiels, susceptibles de participer à la mise au point et à la diffusion des équipements de transformation du fonio. Les chercheurs ont ainsi opéré une première sélection de quatre entreprises : NTELFAC (ex SGGI), SRC, REMICO et Agri-équipement.

Cette sélection a été faite principalement sur la base de cinq critères : la nature et la complexité de réalisation des équipements déjà fabriqués, la qualification du responsable de l'entreprise et de son personnel, les équipements et les machines-outils disponibles dans l'unité de production, les expériences de partenariats et la volonté de collaborer avec la recherche. A l'occasion de la réunion annuelle du projet qui s'est déroulée au Burkina Faso en janvier 2015, une rencontre a été organisée avec les entreprises REMICO et Agri-Equipement qui sont partenaires de l'IRSAT dans la fabrication de décortiqueurs GMBF et de crible-nettoyeurs.



Figure 49. Visite de l'entreprise Agri-Equipement de Ouagadougou (© J-F Cruz, Cirad)

Au Mali, un travail de recensement des unités de transformation du fonio de la ville de Bamako, a été réalisé quartier par quartier. Les résultats de ce travail révèlent l'existence d'au moins 71 entreprises de transformation du fonio à Bamako (figure 50). Il s'agit d'une activité presque exclusivement féminine et les rares hommes présents dans ces entreprises sont affectés à l'utilisation des équipements (décortiqueurs, moulins, séchoirs). En plus de leur production de fonio, ces entreprises fabriquent généralement une large gamme de produits céréaliers voire de condiments.

Plus d'un millier de personnes sont directement employées, de façon temporaire ou permanente, par ces unités de transformation. On constate un double mouvement de développement dans ce secteur d'activité. A la fois par une multiplication du nombre d'entreprises, ainsi plus de 80% ont été créés au cours des années 2000, mais également par une augmentation de la taille de certaines d'entre elles.

On a pu distinguer 3 entreprises de transformation considérées comme les leaders du secteur: UCODAL, Danaya Céréales et Dado Production qui vendent leurs productions à la fois sur le marché national et à l'exportation vers l'Europe et l'Amérique du Nord. Le niveau d'investissement dans l'activité est très important. Elles utilisent des locaux entièrement dédiés à la transformation des produits et ont introduit de nombreux équipements dans leur processus de production (cribles rotatifs, décortiqueurs GMBF, séchoirs à gaz, moulins...).

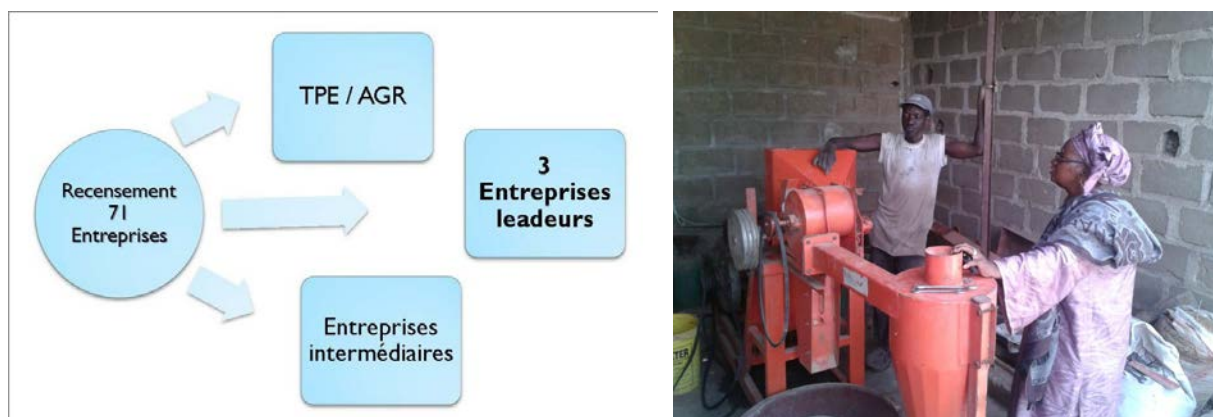


Figure 50. Unités de transformation du fonio à Bamako (© T. Ferré, Cirad)

Activité 5.2. Etudier les relations entre les composantes du système d'innovation

Pour cette activité, il a été prévu que l'analyse des composantes du système d'innovation et des interrelations entre ces composantes prenne pour point de départ des observations et des enquêtes, les changements techniques, équipements spécifiques, survenus dans le processus de transformation du fonio. Le choix particulier a porté sur le décortiqueur-blanchisseur GMBF qui a été conçu puis introduit et diffusé en 2002 dans le cadre du premier projet Fonio.

✓ Etude de l'impact de l'innovation « décortiqueur GMBF » au Burkina Faso et au Mali

La démarche d'évaluation de l'impact

L'analyse s'appuie sur la méthodologie ImpresS développée par le Cirad. Au plan opérationnel, le cadre conceptuel d'analyse de l'innovation et de la contribution de la recherche à l'impact doit :

- produire un récit de l'innovation décortiqueur fonio qui conduit aux impacts,
- construire une première hypothèse du chemin de l'impact à partir de l'espérance de changement portée par la recherche,
- définir et affiner les hypothèses avec les acteurs en précisant mieux le récit de l'innovation, le chemin et la nature des impacts (1er atelier participatif),
- documenter de manière systématique les produits (outputs) et les ressources générées (outcomes),
- caractériser et quantifier les impacts de 1er niveau (au niveau des acteurs qui interagissent avec la recherche et/ou ses partenaires) par une méthode multicritères s'appuyant sur des enquêtes et/ou des « focus groups »,
- caractériser et quantifier certains impacts de 2ème niveau (changement d'échelle ou Spill over) par une diversité de méthodes (collecte de données secondaires notamment),
- Valider l'ensemble des résultats avec les acteurs (2ème atelier participatif),
- Finaliser l'étude (récit de l'innovation, chemin de l'impact, quantification des impacts).

Le chemin de l'impact est schématisé par le diagramme suivant :

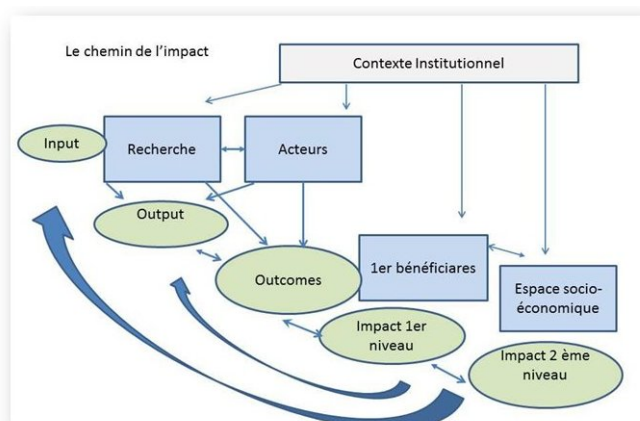


Figure 51. Schéma du chemin de l'impact (© Cirad ImpresS)

L'étude d'évaluation d'impact

L'étude a été réalisée par le Cirad avec la collaboration de l'IRSAT et l'appui d'un stagiaire ISTOM (M. Chtioui) en stage au Cirad d'avril à août 2015 avec une mission sur le terrain au Burkina Faso d'avril à mi-juin 2015. Pour les enquêtes de terrain au Burkina Faso, le Cirad et l'IRSAT ont sollicité la collaboration de l'ONG «Afrique Verte» (Aprossa). Au Mali, la collaboration est celle de l'ONG «Afrique Verte» (Amassa) et de l'IER (Mme F. Guindo).

Pour lancer l'étude d'évaluation d'impact, une mission conjointe Cirad (T. Ferré & M. Chtioui) et IRSAT (I. Medah) a été réalisée dans l'ouest du Burkina Faso (Boucle du Mouhoun) en mai 2015. Cette mission a permis de rencontrer de nombreux opérateurs de la filière :

- Entretiens collectifs auprès de 2 groupements de producteurs de Bomborokuy: «Varossé» (23 producteurs) et «Zoumé» (14 producteurs)
- Entretiens collectifs auprès de 3 groupements de transformatrices de Bomborokuy: Association «Passé» (55 femmes), association «Brayorona» (34 femmes) et groupement Benkadi.
- Entretiens individuels avec des entreprises dotées du décortiqueur-blanchisseur GMBF / Repérage des dynamiques en cours / Evolution des activités (à Bomborokuy, Nouna et Djibasso)
- Rencontre avec M. François Ouedraogo (Marché d'Etat/35 décortiqueurs IMAF pour le Burkina).
- Rencontre avec Afrique Verte (Aprossa) et Projet IRD (International Relief & Development.)

Principales informations collectées au Burkina Faso

Pour les producteurs et les transformatrices, les principaux changements observés au cours des dernières années sont :

- Changement de statut du fonio : d'une céréale de soudure à un produit commercial,
- Plus des 2/3 de la production sont commercialisés,
- Augmentation générale des surfaces totales emblavées en fonio / et par producteur,
- Augmentation du prix de vente du fonio,
- Dynamique en cours grâce à: batteuses et décortiqueurs en prestation de services,
- Plus de la moitié de la production est transformée par le décortiqueur,
- Prix de la prestation : 1000 FCFA / tine (environ 15 kg) soit 67 FCFA/kg (ou 0,1 €/kg).

Les principales contraintes restent le manque de batteuses et de décortiqueurs.

Une entreprise de Bomborokuy (F.X. Traoré), équipée de 3 décortiqueurs GMBF et de 2 batteuses (type « Bamba » fabriquées au Mali), réalise une activité de production et de prestation de service depuis 2010. En 2014-2015 l'activité a porté sur 50 tonnes de fonio blanchi. Elle commercialise principalement vers le Mali (demande Ucodal...) mais est confrontée à une forte concurrence sur ce marché.



Figure 52. Décortiqueurs GMBF de Bomborokuy (© T. Ferré, Cirad)

L'entreprise est maintenant installée à Bobo Dioulasso pour réaliser une unité de transformation du fonio (UTF) allant jusqu'au produit fini emballé (emballages en provenance du Ghana). Elle a accueilli l'installation du dessableur hydrolift (voir § 2.2.3) et a investi dans un séchoir à flux traversant CSec-T.

Une entreprise de Nouna (Gaia Bio Solidaire) produit du fonio bio semi-complet étuvé pour l'exportation depuis le début des années 2000. La certification est assurée par Ecocert et l'entreprise est

accompagnée l'ONG Orange Bleue Afrique. En 2014-2015, elle a produit 30 tonnes dont 26 ont été exportées car le fonio complet s'écoule encore difficilement sur le marché local ou régional. Elle encadre 9 groupements représentant près de 400 producteurs bio et achète la matière première à 175 FCFA/kg (au lieu de 150 FCFA/kg qui est le prix habituellement pratiqué). Les 30 tonnes de la campagne 2014-2015 ont été acquies auprès de 50 producteurs.

L'entreprise est équipée d'un nouveau décortiqueur GMBF (avril 2015) et d'un décortiqueur plus ancien et usé qui ne débite que 65 kg/h. Elle est également équipée d'un crible rotatif. L'originalité de l'entreprise est de produire un fonio semi-complet étuvé. L'étuvage (passage à la vapeur) est réalisé sur le fonio paddy. Le diagramme de transformation est alors constitué des opérations suivantes : nettoyage (criblage), lavage-dessablage, étuvage, séchage puis décorticage (avec blanchiment partiel). Le nombre de phases de dessablage qui s'effectue sur fonio paddy est limité à 4. L'unité peut traiter 560 kg de fonio par jour.

Enfin, une entreprise de Djibasso (P. Koeta) est équipée d'un décortiqueur GMBF à moteur thermique et d'un crible rotatif pour réaliser des prestations de service.



Figure 53. Décortiqueur GMBF à l'entreprise Gaia de Nouna (© T. Ferré, Cirad)

Principaux constats au Burkina Faso

Les décortiqueurs à fonio qui équipent actuellement les entreprises sont des décortiqueurs GMBF fabriqués par IMAF au Mali. Bien que ce décortiqueur ait été mis au point au début des années 2000, il n'y a toujours pas d'équipementiers qui assurent sa fabrication au Burkina Faso.

A l'occasion de la réunion annuelle du projet de Ouagadougou en janvier 2015, les chercheurs ont pu rencontrer l'entreprise REMICO de Ouagadougou qui fabriquait des exemplaires mais d'autres constructeurs ont également été identifiés comme le montre le tableau 5 suivant

Tableau 5. Quelques équipementiers identifiés au Burkina Faso

Entreprise	Représentant	Dispositif associé	Localisation	Accompagnement Recherche
ACEMG	Hermann Ouedraogo	Projet IRD US	Bobo Dioulasso	Identifiés par IRSAT pour être formés à la construction de divers équipements fonio et sésame
Ets Godjio et frères	Omar Godjio	Projet IRD US	Banfora	
AgriEquipements	Alassane Ganou	Projet IRD US	Ouagadougou	
Remico	Yves Zongo	Projet IRD US	Ouagadougou	
Yétéli Constructions	Jean Kamaté	Projet IRD US	Nouna	
AMB	Joseph Pogogné	Sous traitance IRSAT	Ouagadougou	Fabrication de pièces
STAB	Sory Sanogo	Projet CFC Fonio	Bobo Dioulasso	Projet CFC fonio (cône blanchisseur mais abandonné)
AGCM	Karim Guira	Sous traitance IRSAT	Bobo Dioulasso	A réalisé des gabarits à partir du GMBF de Mme Traoré
SOAF	Mamadi Camara	Indépendant	Bobo Dioulasso	Pour lui le marché serait insuffisant

Au Burkina Faso, le manque de constructeurs d'équipements fonio clairement attirés, oblige donc les entreprises de transformation à toujours se fournir au Mali (IMAF) ; ce qui peut entraîner diverses difficultés dans la maintenance des équipements.

Le projet IRD - International Relief & Development (2013-2015) est intervenu sur l'après récolte du fonio en collaboration avec l'IRSAT et Afrique Verte. Il a été prévu de former cinq équipementiers à la fabrication du décortiqueur GMBF (voir tableau n°5). Cela peut paraître excessif car il serait plus réaliste de sélectionner au plus 2 équipementiers (1 à Ouagadougou et 1 dans la région de Bobo Dioulasso) qui pourraient travailler en collaboration directe avec l'entreprise IMAF de Bamako.

Principales informations collectées au Mali

Au Mali, le dispositif d'évaluation des impacts de l'innovation décortiqueur fonio repose sur une démarche identique. L'Association Malienne pour la Sécurité et la Souveraineté Alimentaires (AMASSA - Afrique Verte Mali) a contribué activement à la mise en œuvre de la démarche d'évaluation des impacts proposée par le Cirad. Elle a notamment pu réaliser les ateliers participatifs avec les acteurs de la filière fonio et conduire certaines enquêtes de terrain avec l'appui de Mme Fanta Guindo (IER). L'étude a permis d'élaborer un chemin d'impact qui aide à identifier la contribution de la recherche au processus. Il permet également de repérer les résultats produits (Outputs) provenant de la recherche ou de la collaboration recherche-acteurs, les ressources générées (Outcomes), les impacts de 1^{er} niveau qui affectent les acteurs (équipementiers, transformatrices-expérimentatrices) interagissant directement avec la recherche, et les impacts de 2^{ème} niveau qui concernent un nombre plus important d'acteurs (les producteurs par exemple).

Les impacts ont été caractérisés par des descripteurs qui font sens pour les acteurs. La collecte de ces descripteurs a été réalisée lors d'entretiens individuels ou de groupes d'abord au moment de l'élaboration du récit de l'innovation, puis au cours d'un atelier participatif qui s'est déroulé le 22 juillet 2015 à Bamako avec les acteurs de la filière fonio. Ces descripteurs ont ensuite été transformés en un nombre limité d'indicateurs qui peuvent être quantifiables ou appréciables qualitativement et qui rendent compte d'une évolution entre une situation de référence et la période de réalisation de l'étude. In fine, les résultats de l'analyse ont été validés au cours d'un atelier final avec les acteurs qui s'est tenu le 24 juin 2016 à Bamako.

Principaux constats au Mali

Les principaux impacts de l'innovation « décortiqueur à fonio GMBF » sont les suivants :

- L'innovation « *décortiqueur à fonio GMBF* » a eu un impact considérable sur l'équipementier IMAF et sur les transformatrices qui ont participé à sa mise au point. IMAF a commercialisé près de 112 décortiqueurs à fonio. Les transformatrices ont connu une augmentation importante des volumes de production. En 15 ans, la production annuelle des 3 principales entreprises maliennes est passée de quelques tonnes à plus d'une centaine de tonnes avec une quarantaine d'emplois créés. A la fin de l'année 2015, l'entreprise *Danaya Céréales* a ouvert une nouvelle unité de production (figure 54) dans la zone industrielle de Dialakorobougou située en périphérie de Bamako. Elle a pour objectif de transformer 4 tonnes de fonio par jour en 2018 pour mieux satisfaire les demandes croissantes sur le marché national et à l'exportation.



Figure 54. Entreprise Danaya Céréales en zone industrielle de Dialakorobougou (© P. Thauhay, Cirad)

- Les transformatrices qui ne sont pas équipées de décortiqueur GMBF ont toutefois accès à cet équipement grâce à l'émergence d'entreprises de première transformation qui commercialisent du fonio décortiqué et blanchi ou grâce à des prestataires de services. C'est le cas à Bamako mais également en province. Ainsi, dans la région de Ségou, l'entreprise UTC basée à San et qui a débuté dans le fonio en 2009 traite aujourd'hui près de 1200 tonnes de fonio par an. Elle possède 6 décortiqueurs et emploie 22 permanents et 30 temporaires.
- A Bamako, 80 % des entreprises de transformation de fonio ont été créées sur la période 2000-2015.

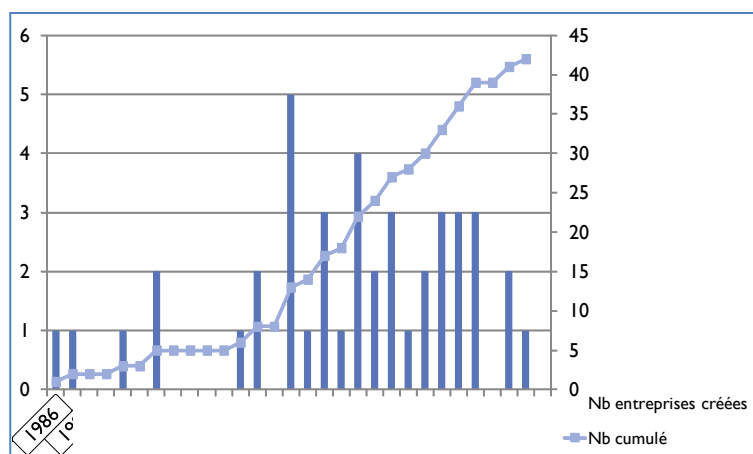


Figure 55. Evolution de la création d'entreprises de transformation du fonio à Bamako (Mali)

- En zone rurale, l'implantation d'ateliers de prestation pour le décortiquage a permis le maintien voire le développement de la culture du fonio. Ainsi, 80% des producteurs enquêtés dans les villages équipés ou proches d'un décortiqueur déclarent une augmentation de leurs surfaces cultivées en fonio depuis l'installation de la machine. Par ailleurs, tous les producteurs enquêtés estiment qu'il y a eu une augmentation du nombre de producteurs de fonio dans leur village depuis l'arrivée du décortiqueur.
- Tous les producteurs qui commercialisent leur fonio estiment que leur revenu a augmenté grâce à la vente du fonio : 50% estiment cette augmentation très importante, 40 % l'estiment moyennement importante, 10% peu importante.
- Tous les producteurs de fonio enquêtés assurent que leur situation alimentaire s'est améliorée grâce au maintien et au développement de la culture du fonio. Les producteurs disent conserver tout ou partie de leur récolte de fonio pour la consommation familiale. La récolte du fonio intervenant avant celle des autres céréales, elle permet ainsi de disposer d'un aliment durant la période de soudure. Une majorité de producteurs enquêtés soulignent également l'intérêt du fonio qui leur permet de diversifier leur alimentation et offre la possibilité de préparer différents types de plats.
- La mécanisation du décortiquage contribue à l'amélioration des conditions de vie des ménages ruraux. Dans les villages enquêtés, toutes les femmes soulignent que le décortiqueur les a libérées d'une tâche qu'elles jugent très pénible. Femmes et hommes sont unanimes pour dire que le décortiqueur a diminué la pénibilité du travail, sauvant le fonio d'un déclin régulier. Toutes et tous déclarent que le décortiquage mécanique a permis de réduire les tensions dans la famille.

✓ **Enseignements sur la démarche d'innovation**

Au-delà des résultats en termes d'impacts, l'étude portant sur le cas du décortiqueur GMBF permet d'enrichir la réflexion sur la conduite des projets d'innovations et sur les conditions et les mécanismes qui favorisent l'appropriation des résultats de la recherche par les entreprises du secteur agroalimentaire. L'étude contribue à répondre aux questions posées sur : comment améliorer les démarches d'innovations technologiques mises en œuvre par les chercheurs ? Comment accompagner l'innovation des PME du secteur agroalimentaire ?

Cette étude révèle des facteurs clés, des conditions nécessaires qui ont largement contribué à la diffusion des résultats de la recherche et à l'innovation. Aujourd'hui, la longue expérience des chercheurs en matière de conception d'équipements montre clairement que le partage des connaissances avec les fabricants d'équipements ne va pas de soi et que la seule évidence scientifique ne conduit pas nécessairement à des changements et des innovations.

Certaines conditions ont été essentielles pour que les équipementiers et les transformatrices s'approprient les résultats de la recherche. Les modalités d'interventions qui apparaissent déterminantes dans le cas exemplaire du décortiqueur GMBF sont: la conception conjointe via un dispositif multi-acteurs, les interactions fortes entre les chercheurs et les acteurs clés du dispositif, une forte volonté d'innover des transformatrices, futures utilisatrices du décortiqueur, une intervention de la recherche qui s'est prolongée au-delà de la durée du projet, une implication des ONG dans la diffusion de l'innovation à plus grande échelle.

Activité 5.3. Accompagner les processus d'innovation

Dans le cadre de cette activité, l'équipe du WP4 a accompagné deux activités portées par le WP3 : d'une part la « *Réalisation et expérimentation en milieu réel d'un prototype de dessableur hydrolift* » et d'autre part le « *Transfert du séchoir CSec-T en milieu réel au Burkina Faso* ».

Le dispositif mis en place à Bobo Dioulasso, de type plateforme d'innovation, qui a permis l'obtention des certains résultats (présentés au paragraphe 2.2.3), repose sur la mise en place d'un collectif d'acteurs constitué par 2 fabricants de séchoirs (M. Ouattara et A. Souaré de l'entreprise SOLDEV), des transformatrices de fonio du Réseau des transformatrices de céréales du Faso (RTCF), de F. X. Traoré (entreprise UTF de Bobo) transformateur leader du secteur, l'ONG APROSSA-Afrique Verte et des chercheurs de l'IRSAT et du Cirad.

Ce dispositif a permis de mettre en relation différents acteurs qui, pour la plupart, ne s'étaient jamais rencontrés. C'est notamment le cas pour les fabricants d'équipements et les utilisatrices potentielles que sont les transformatrices de fonio. Il s'est agi également de provoquer des interactions entre les chercheurs et les acteurs clés susceptibles de contribuer fortement à la diffusion des innovations à travers la mise en place de situations d'apprentissage : la formation des équipementiers à la fabrication du séchoir CSec-T et la formation des transformatrices à l'utilisation du séchoir.

Le simple fait de communiquer des résultats de recherche n'est pas suffisant pour qu'ils soient utilisés. Il s'agissait donc de rendre accessibles les résultats de la recherche

La réalisation de deux séchoirs CSec-T dans l'atelier de l'entreprise SOLDEV a permis d'adapter les équipements aux conditions locales de fabrication et d'évaluer leur coût de fabrication. Les séances de formation où se côtoyaient fabricants, transformatrices, chercheurs et ONG ont permis d'appréhender les conditions d'appropriation. Les échanges avec les différents acteurs ont également permis aux chercheurs de définir les modalités de valorisation des résultats de la recherche. En plus des 2 séchoirs fabriqués sur financement du projet Aval Fonio, l'entreprise SOLDEV a fabriqué et commercialisé 3 autres séchoirs pour des transformatrices de Bobo Dioulasso et de Banfora.

Conclusion partielle

Le dispositif de soutien à la diffusion des innovations mis en place à Bobo Dioulasso, au Burkina Faso, n'existe que depuis la fin de l'année 2015. Bien que récent, il a déjà donné quelques résultats encourageants et nécessite d'être appuyé.

Ce type de dispositif s'inspire largement du concept de plateforme d'innovation ainsi que des constats de l'étude de cas de l'innovation *décortiqueur à fonio GMBF*. Il s'agit à travers cette démarche de répondre à la question du comment promouvoir l'accès et l'utilisation effective des innovations agroalimentaires par les PME dans le but d'accroître la productivité du secteur, de contribuer à la croissance économique et de participer ainsi à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté.

Il existe déjà un certain nombre d'expériences de plateformes d'innovations en Afrique. La plupart sont centrées sur les activités agricoles et placent les producteurs au centre du dispositif. Mais peu d'expériences de plateformes d'innovations sont centrées sur l'innovation technologique agroalimentaire. Un tel dispositif mettant en réseau les différents acteurs susceptibles de jouer un rôle dans la conception et l'adaptation des innovations semble prometteur dans le domaine des innovations en technologie agroalimentaire.

Les enjeux pour la recherche sont de :

- Concevoir de nouvelles références techniques
- Renforcer les connaissances des PME : transformatrices et équipementiers
- Renouveler les interactions entre les acteurs des territoires
- Accompagner les processus d'innovation.

2.2.5. WP5: Animation, coordination et communication

Une demande de prolongation du projet de 6 mois a été adressée le 3 mars 2015 à l'Union Africaine par la coordination Cirad. Une réponse positive a été obtenue par un courrier de l'Union Africaine (Ref : HRST/ST/1/1461.10.15) daté du 5 octobre 2015. La date de clôture du projet initialement prévue au 16 décembre 2015 a été reportée au 16 juin 2016.

Activité 6.1 : Réaliser un site internet pour informer les acteurs

Le site Web du projet mis en ligne en septembre 2013 a été régulièrement actualisé tout au long du projet. Il comprend une version française (<http://aval-fonio.cirad.fr/>) et une version anglaise (<http://aval-fonio.cirad.fr/en>).

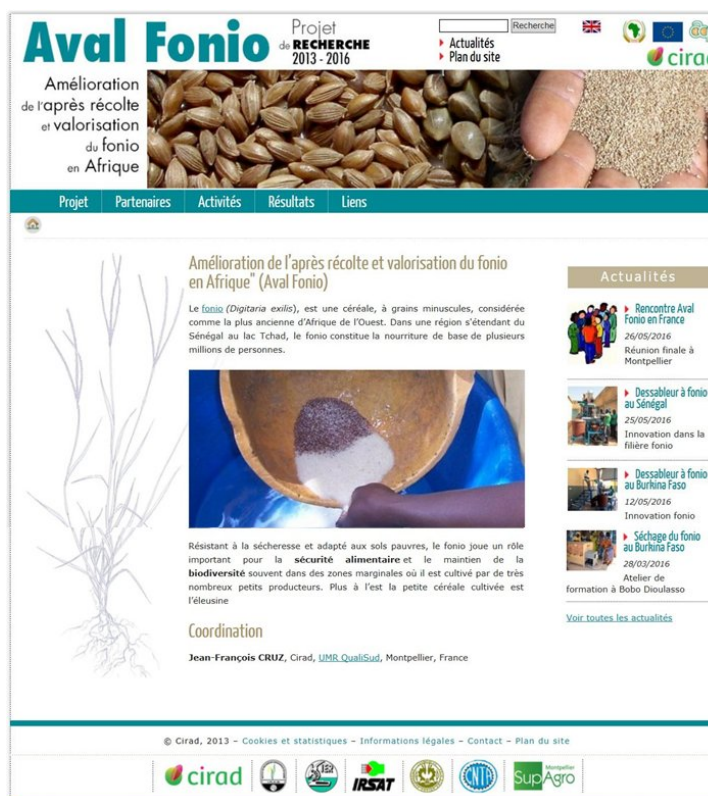


Figure 56. Vue de la page d'accueil du site Aval Fonio (© Cruz, Cirad)

Activité 6.2 : Organiser un séminaire en invitant d'autres pays producteurs

Cette activité a été remplacée par la tenue d'une réunion finale qui a eu lieu en France à Montpellier en juin 2016.

Activité 6.3 : Publier les résultats sous la forme d'articles et d'un cédérom

Les partenaires ont été encouragés à publier, en cours de projet, des articles de vulgarisation, des brèves journalistiques », des posters... pour faire connaître le fonio en général et/ou les résultats obtenus dans le cadre du projet Aval Fonio en particulier.

Un article intitulé « La mécanisation du décorticage du fonio a réduit la pénibilité et contribué à la durabilité de la filière » a été rédigé pour l'ouvrage « Développement durable et filières tropicales » publié en 2016 aux éditions QUAE.

Une plaquette de présentation du projet Aval Fonio a été réalisée pour l'Union Africaine. Elle est disponible en version française et en version anglaise.

Un article «Fonio et Quinoa, deux nouvelles graines à la conquête des marchés » est en cours de rédaction pour être publié dans la revue « Agronomie, environnement et sociétés » de l'association française d'agronomie

L'ouvrage « Fonio, an African cereal » a été publié (Editions Cirad, IRAG) en juillet 2016.

Ce livre est la version anglaise actualisée de l'ouvrage « Le fonio, une céréale africaine » paru en 2011 aux éditions QUAE. Ouvrage consacré au fonio, ce livre aborde tous les aspects de cette petite céréale, de la culture à la transformation, et fournit même quelques recettes culinaires. Cet ouvrage est la synthèse d'une vingtaine d'années de recherches réalisées, en Afrique de l'Ouest, dans le cadre de projets internationaux.

Référence : Cruz J-F, Béavogui F., Dramé D., Diallo T.A. 2016. *Fonio, an African cereal*. Editions Cirad/IRAG, Montpellier, France, 153 p.

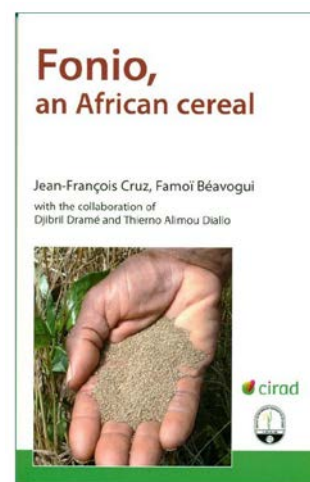


Figure 57. Ouvrage « Fonio, an African cereal » (© Cruz, Cirad)

Enfin, un cederom Aval Fonio est en préparation pour rassembler tous les livrables du projet.

Activité 7.1 : Organiser et animer des ateliers spécifiques et les réunions annuelles

✓ Réunion annuelle 2015 à Ouagadougou (Burkina Faso).

En 2015, la réunion annuelle du projet Aval Fonio a été organisée à Ouagadougou (Burkina Faso) du 19 au 23 janvier 2015. Organisée conjointement par le Cirad et l'IRSAT, la rencontre a eu lieu dans les nouveaux locaux de la Direction Régionale du Cirad dans l'enceinte de l'IRD Burkina.

La réunion annuelle a rassemblé tous les partenaires du projet (Cirad, Irsat, IER, ESP-Ucad, CNTA) à l'exception de l'IRAG de Guinée qui n'a pas eu la possibilité de rejoindre le Burkina Faso. Elle a permis d'analyser l'état d'avancement des activités des différents workpackages et de programmer les activités pour la troisième année du projet. Elle a également donné l'occasion de visiter des constructeurs d'équipements de transformation du fonio (Remico et Agri-équipement) à Ouagadougou.



Figure 58. Réunion annuelle 2015 du projet Aval Fonio à Ouagadougou (© T. Ferré, Cirad)

✓ Atelier des workpackages à Dakar (Sénégal)

Le Cirad a organisé en partenariat avec l'ESP-UCAD un atelier des workpackages à Dakar (Sénégal) du 8 au 12 juin 2015. Il s'agissait de la septième rencontre réalisée dans le cadre du projet Aval Fonio.

La réunion a rassemblé une vingtaine de participants dont des chercheurs et techniciens de l'ESP-UCAD-Sénégal (8), du Cirad-France (5 chercheurs), de l'IRAG-Guinée (3 chercheurs), de l'IER-Mali (2 chercheurs) et de l'IRSAT-Burkina Faso (1 chercheur).

L'ouverture de l'atelier a été présidée par A.T. Gaye (nouveau Directeur de l'ESP/UCAD), D. Depommier (Directeur Régional Cirad), P. N. Sall (Directeur Général du FNRAA), F. Béavogui (Directeur Général IRAG), C.M.F. Kébé (Responsable Aval Fonio au Sénégal) et J-F Cruz (Coordinateur du projet Aval Fonio).

Les discussions ont permis de faire le point sur les résultats des recherches menées en mécanisation post-récolte du fonio et de programmer les futures activités jusqu'au terme du projet. L'atelier a également été l'occasion de réaliser un essai de séchage de 350 kg de fonio précuit dans le séchoir serre solaire (CSec-S) conçu par le Cirad et testé à l'ESP-UCAD (voir § 2.2.3).



Figure 59. Participants à l'atelier de Dakar en juin 2015 (© T. Ferré, Cirad)

L'atelier a fait l'objet d'un rapport spécifique:

Cruz J-F., Kébé C. M. F., 2015. Rapport de l'atelier Aval Fonio de Dakar (Sénégal). Projet Aval Fonio. Cirad, Montpellier, 33 p.

✓ *Réunion annuelle 2016 à Dakar (Sénégal).*

La troisième réunion annuelle du projet Aval Fonio a eu lieu à Dakar (Sénégal) du 1 au 5 février 2016.

Organisée par le Cirad et l'ESP-UCAD, la rencontre s'est déroulée dans les locaux de l'incubateur Innodé de l'Ecole Supérieure Polytechnique (Université Cheikh Anta Diop).

La réunion annuelle a concerné tous les partenaires du projet et a rassemblé une douzaine de participants. Le Cirad était représenté par les UMR QualiSud (J-F Cruz, Coordinateur et T. Goli, co-leader WP3) et Innovation (T. Ferré, co-leader WP4). l'ESP-Ucad du Sénégal était représentée par (C. M. F. Kébé co-leader WP3 et représentant du projet au Sénégal, A. Anne et A. Diallo du WP3). Les autres partenaires présents étaient l'IER du Mali (Mme F. Guindo, co-leader WP3), l'IRAG de Guinée (T.A. Diallo, co-leader WP2 et S. Camara co-leader WP1) et l'IRSAT du Burkina Faso (I. Medah, co-leader WP4).

La réunion annuelle de Dakar a eu pour objet d'analyser les résultats des différentes activités réalisées en 2015 et de programmer les activités jusqu'à la clôture du projet fixée au 16 juin 2016. Elle a également permis d'aborder les aspects administratifs et financiers du projet et de décider d'une réunion finale à Montpellier (France).



Figure 60. Participants à la réunion annuelle de Dakar en juin 2015 (© T. Ferré, Cirad)

✓ **Réunion finale du projet Aval Fonio à Montpellier (France).**

La réunion finale du projet Aval Fonio a été organisée par le Cirad à Montpellier (Maison de la Technologie) du 6 au 10 juin 2016 et a rassemblé une quinzaine de participants.

La réunion annuelle a concerné tous les partenaires du projet. Le Cirad était représenté par les UMR QualiSud (J-F Cruz, Coordinateur, T. Goli, co-leader WP3 et P. Thaunay Co-leader du WP2) et Innovation (T. Ferré, co-leader WP4). L'ESP-Ucad du Sénégal était représentée par (C. M. F. Kébé co-leader WP3 et représentant du projet au Sénégal, A. Anne et A. Diallo du WP3). Les autres partenaires présents étaient l'IER du Mali (Mme F. Guindo, co-leader WP3), l'IRAG de Guinée (S. Camara co-leader WP1) et l'IRSAT du Burkina Faso (I. Medah, co-leader WP4). Des chercheurs et techniciens de QualiSud qui ont collaboré au projet ont également pu participer à certaines séances de présentation et de discussion.



De gauche à droite :

2ème rang: T. Ferré (Cirad), Mme F. Boré Guindo (IER, Mali), J-F Cruz (Cirad), Mme V. Bancal (Cirad),
A. Diallo (ESP, Sénégal), S. Camara (IRAG, Guinée), P. Thaunay (Cirad), I. Medah (IRSAT, Burkina Faso)
1er rang assis: C.M.F. Kébé (ESP, Sénégal), A. Delpech (Cirad), T. Goli (Cirad), A. Anne (ESP, Sénégal)

Figure 61. Participants à la réunion finale du projet Aval Fonio à Montpellier (© A. Servent, Cirad)

La réunion finale a permis de dresser un bilan détaillé des nombreuses activités réalisées dans le cadre du projet Aval Fonio et notamment :

- Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte du fonio,
- Mécanisation des techniques post-récolte du fonio (batteuses et nettoyeurs),
- Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation (dessableurs et séchoirs),
- Processus d'innovation dans les petites industries de transformation.

La réunion a aussi été l'occasion de présenter aux partenaires du Sud les différents plateaux techniques de la plateforme de technologie agroalimentaire du Cirad.

Activité 7.2 : Former les partenaires

A la demande du partenaire ESP-UCAD, la formation CAO initialement prévue dans le cadre du projet a été remplacée par une formation intitulée « Méthode de conception d'équipements ». En effet, les agents de l'ESP/UCAD disposant déjà de logiciels de CAO spécifiques ont souhaité qu'une formation « conception d'équipements » leur soit accordée plutôt qu'une formation purement CAO. Cette formation animée par le Cirad (P. Thaunay) a été réalisée en 2013.

Thaunay P. 2013. Formation Méthode de conception d'équipements à l'ESP-UCAD. Projet Aval Fonio. Activité 7.2., Cirad, 37 p. + annexes

2.3. Activités modifiées (retardées ou avancées)

2.3.1. WP1 : Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte

Il n'y a pas eu de retard majeur dans la réalisation des activités du WP1.

2.3.2. WP2 : Mécanisation des techniques post-récolte du fonio

Les retards observés au cours des 2 premières années de projet ont pu être résorbés et tous les essais prévus ont pu être réalisés.

2.3.3. WP3: Amélioration des technologies de transformation et de stabilisation du fonio

Les retards accumulés au cours des 2 premières années de projet ont pu, là aussi, être résorbés et tous les essais prévus ont pu être réalisés grâce notamment à la prolongation de 6 mois du projet. C'est ainsi que le transfert et les tests en milieu réel des séchoirs « à flux traversant » CSec-T et « serre solaire » CSec-S au Sénégal, au Burkina Faso et en Guinée ont pu avoir lieu durant le premier trimestre 2016.

En matière de mécanisation du dessablage du fonio, le premier prototype de dessableur « hydrolift » a été fabriqué et testé en milieu réel dans l'entreprise UCODAL de Bamako (Mali) durant l'année 2015.

Grâce à la prolongation de 6 mois du projet, un second prototype et une présérie de deux dessableurs hydrolift ont pu être réalisés pour équiper 3 autres PME transformatrices de fonio respectivement au Mali, au Burkina Faso et au Sénégal.

2.3.4. WP4: Processus d'innovation dans les petites agro-industries de transformation

Il n'y a pas eu de retard particulier dans la réalisation des activités du WP4.

2.3.5. WP5: Animation, coordination et communication

En 2015 et 2016, des modifications ont été apportées à l'activité 7.1. *Organiser et animer des ateliers spécifiques et les réunions annuelles*

Dans le rapport annuel 2014, le tableau prévisionnel des réunions et ateliers du projet avait été actualisé de la façon suivante (tableau 6):

Tableau 6. Calendrier des réunions et ateliers actualisé en 2014.

Réunions ou ateliers	Pays	Participants	Mois	Durée (jours)
Réunion annuelle	Burkina Faso	Comité de pilotage + partenaires locaux	Janvier 2015	3
Atelier WP1 à WP4	Sénégal	Chercheurs et partenaires locaux concernés	Juin 2015	3
Atelier WP1 à WP4	Burkina Faso	Chercheurs et partenaires locaux concernés	Novembre 2015	3
Réunion annuelle	Guinée	Comité de pilotage + partenaires locaux	Janvier 2016	4
Séminaire final	Mali	Comité de pilotage + Chercheurs, partenaires locaux, décideurs, ONG...	Mars 2016	4

En raison de la situation sécuritaire et/ou sanitaire dans certains pays partenaires (Guinée et Mali notamment), le comité de pilotage a modifié le calendrier des réunions pour la fin du projet (tableau 7).

Tableau 7. Calendrier des réunions et ateliers réalisés en 2015 et 2016.

Réunions ou ateliers	Pays	Participants	Mois	Durée (jours)
Réunion annuelle	Burkina Faso	Comité de pilotage + partenaires locaux	Janvier 2015	3
Atelier des workpackages	Sénégal	Chercheurs et partenaires locaux concernés	Juin 2015	3
Réunion annuelle	Sénégal	Comité de pilotage + partenaires locaux	Février 2016	4
Réunion finale	France	Comité de pilotage + Chercheurs,	Juin 2016	4

2.4. Résultats du projet Aval Fonio.

2.4.1. Observations sur l'exécution et la réalisation des activités

Comme cela a déjà été précisé dans les précédents rapports annuels, certaines activités techniques ont pu connaître un certain retard dans leur exécution car la situation sécuritaire et/ou sanitaire dans certains pays partenaires (Guinée, Mali, ou même Burkina Faso...) a pu perturber le lancement ou le bon déroulement des actions.

Les enquêtes du WP1 sur les systèmes de production et de post-récolte du fonio en Guinée se sont finalement déroulées plus ou moins normalement malgré un pays, à une période, gravement touché par le virus Ebola. En 2015-2016, les activités du WP1 « Analyse des systèmes de production et des systèmes post-récolte » initiées dans 6 gros villages du Fouta Djallon ont été étendues aux zones de Lélouma et Mali situées à l'ouest et au nord de Labé.

Pour le WP2 « Mécanisation des techniques post-récolte », les différentes activités prévues ont été menées à leur terme avec des résultats très intéressants même s'ils ne sont pas tous positifs.

La motofaucheuse à fonio, modifiée à Bamako en juillet 2015, a été testée en Guinée mais les résultats n'ont pas donné satisfaction. Des études sont donc encore nécessaires pour envisager, à terme, la mécanisation de la récolte du fonio.

Des tests de battage du fonio ont été réalisés. La batteuse type Ricefan a été testée au Mali et en Guinée mais les résultats sont médiocres. Les nouveaux essais réalisés avec la batteuse ASSI réhabilitée, ont confirmé les bons résultats déjà obtenus lors des précédents projets fonio. Suite aux très bons résultats obtenus avec de la batteuse ASSI modifiée, les spécialistes en mécanisation considèrent que la machine est validée pour le battage du fonio et semble, par ailleurs, économiquement rentable notamment dans les conditions guinéennes. La machine actuelle, relativement lourde, peut convenir aux zones de plaine facilement accessibles. Pour les zones de montagne, il serait nécessaire d'avoir recours à des batteuses de même type mais de taille réduite pour être plus facilement transportables.

Les essais de nettoyage avec le crible rotatif et le canal de vannage ont confirmé les bonnes performances de ces équipements. Suite aux très bons résultats obtenus (débit voisin de 400 kg/h), les spécialistes en mécanisation considèrent que ces équipements sont validés pour le nettoyage du fonio paddy et peuvent être utilisés pour le nettoyage du fonio décortiqué et blanchi ; le canal de vannage est d'ailleurs souvent accouplé au décortiqueur-blanchisseur GMBF. Le crible rotatif et le canal de vannage sont des matériels polyvalents qui peuvent être utilisés sur d'autres céréales. Aujourd'hui ces deux équipements devraient pouvoir être construits par les artisans locaux afin de mieux assurer leur diffusion dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest.

Les résultats techniques du WP3 « Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation » ont été les plus nombreux et les plus innovants. ,

Pour l'activité 3 de mécanisation du lavage et du dessablage, il a été montré, par des tests à Montpellier et à Bamako, que l'utilisation d'un simple laveur type «bétonnière» électrique permettait de mettre en œuvre un principe de brassage en excès d'eau proche de celui qui est utilisé lors du lavage manuel traditionnel du fonio. Pour le dessablage, le dessableur « hydrolift », conçu par le Cirad, répond au cahier des charges que les chercheurs s'étaient fixé en assurant un débit voisin de 100 kg/h et un taux résiduel de sable dans les grains inférieur à 200 ppm. Des prototypes et des matériels de présérie ont été placés et testés dans des PME au Mali, au Burkina Faso et au Sénégal. Les opérateurs privés sont satisfaits des bonnes performances observées en conditions réelles d'utilisation.

Pour l'activité 4 « séchage », un séchoir à flux traversant (CSec-T) et un séchoir « serre solaire » (CSec-S) ont été testés sur le site de l'ESP-UCAD à Dakar avant d'être transférés en milieu réel au Sénégal Oriental (séchoir CSec-T au GIE de Salémata et séchoir CSec-S au GIE Koba Club de Kédougou). Le séchoir CSecT répond au cahier des charges que les chercheurs s'étaient fixé en assurant une capacité de chargement d'environ 100 kg et un débit de séchage de 30 à 35 kg/h pour sécher du fonio humide transformé (blanc ou précuit) de 35% à 10%. Le séchoir serre solaire CSec-

S de 90 m² équipé de 10 claies ou plus répond également au cahier des charges fixé en assurant une capacité de chargement d'environ 300 à 350 kg pour sécher du fonio humide transformé (blanc ou précuit) de 35% à 10% en 24h. Par ailleurs, 2 séchoirs CSec-T ont été fabriqués au Burkina Faso pour être mis à disposition de 2 PME burkinabé (à Ouagadougou et à Toussiana), et un petit séchoir CSec-S de 20 m² a été placé dans le village de Pilimini en Guinée. Les différents opérateurs privés qui ont pu utiliser les séchoirs CSec-T et CSec-S semblent satisfaits des performances observées en conditions réelles d'utilisation.

Pour le WP4 « Processus d'innovation dans les petites industries de transformation », les activités se sont déroulées normalement et l'étude de l'impact de l'innovation « décortiqueur GMBF » a pu être réalisée au Burkina Faso et au Mali. Pour les enquêtes de terrain, le Cirad et l'IRSAT ont sollicité la collaboration de l'ONG «Afrique Verte» (Aprossa) au Burkina Faso et de l'ONG «Afrique Verte» (Amassa) et de l'IER (Mme F. Guindo) au Mali.

Pour le WP5, les activités 6.1 (Site internet) et 7.2. (Formation des partenaires) avaient été réalisées en début de projet conformément au programme prévisionnel. Pour les autres activités quelques modifications ont été apportées au calendrier des différentes réunions ou ateliers comme cela a été décrit au paragraphe 2.3. «Activités modifiées». Par rapport au projet initial, 2 postes ont été modifiés concernant notamment :

Une mission d'évaluation à mi-parcours (2 experts agro-machiniste et socio économiste) pour analyser la pertinence des équipements (batteuses, nettoyeurs, dessableurs, séchoirs...) testés au niveau de différents opérateurs de la filière fonio. Comme la conception et la validation des prototypes élaborés dans le cadre du projet ont été retardées et que les premiers équipements n'ont été implantés en milieu réel qu'au cours de l'année 2015 et début 2016, cette mission est devenue vaine. Suite aux bons résultats obtenus dès les premiers essais des prototypes conçus (dessableur « hydrolift », séchoir serre solaire et séchoir à flux traversant...), il est apparu plus efficient d'utiliser les fonds pour assurer, grâce à la prolongation du projet, une meilleure diffusion des équipements auprès de PME ou de GIE: séchoirs au Sénégal mais aussi au Burkina Faso et en Guinée, dessableurs hydrolift dans 2 entreprises de Bamako (Mali) mais aussi au Burkina Faso (Bobo Dioulasso) et au Sénégal (Kédougou).

L'organisation d'un séminaire final avait également été prévue à Ouagadougou (Burkina Faso). Mais suite aux attentats terroristes qui ont eu lieu dans cette ville en janvier 2016, le comité de pilotage qui s'est réuni à Dakar en février 2016 a décidé de ne pas organiser de séminaire final et de remplacer cette manifestation par une réunion finale des partenaires du projet à Montpellier (France).

En matière de publication, certains résultats du projet Aval fonio ont été utilisés pour actualiser l'ouvrage « Le fonio, une céréale africaine » paru en 2011 aux éditions QUAE. Une version anglaise intitulée « Fonio, an African cereal » a ainsi pu être publiée (Editions Cirad, IRAG) en juillet 2016.

2.5. Plan d'action mis à jour (2016)

Sans objet puisque le projet Aval Fonio a été clôturé les 16 juin 2016.

3. Partenaires et autre coopération

3.1. Relations entre les partenaires du projet Aval Fonio

Au cours de la période, la coordination n'a pas rencontré de difficultés particulières avec les institutions partenaires pour le déroulement du projet Aval Fonio. La coordination a, au contraire, à se féliciter de l'intérêt, du dynamisme et de l'esprit de bonne collaboration dont ont fait preuve tous les responsables des workpackages et tous les agents impliqués dans le projet. Pour la coordination, la principale difficulté durant toute la durée du projet a été de ne pas avoir eu la possibilité de se rendre en Guinée, principal pays producteur de fonio, pour y rencontrer directement le partenaire IRAG et les opérateurs de la filière fonio.

3.2. Relations avec les autorités étatiques dans les pays du projet

A l'instar des années précédentes, les principales difficultés rencontrées en 2015 et 2016 ont été dues aux situations sécuritaires ou sanitaires difficiles dans certains pays partenaires comme le Mali, la Guinée ou même le Burkina Faso.

3.3. Relations avec toute autre organisation impliquée dans la mise en œuvre du projet:

- **Associés**

Le Centre National de Technologie Agroalimentaire (CNTA) au Burundi. En janvier 2015, un spécialiste en technologies post-récolte du CNTA (S. Ntahomvukiye), a été invité à participer à la réunion annuelle du projet Aval Fonio qui s'est tenue à Ouagadougou (Burkina Faso). Une mission d'étude au Burundi avait été prévue par le Cirad (J-F Cruz) en 2015 ou 2016 pour faire le point sur la filière éleusine en collaboration avec le CNTA. Mais en raison de l'insécurité grandissante qui règne dans ce pays depuis début 2015, cette mission a plusieurs fois été reportée pour finir par être annulée.

- **Bénéficiaires finaux et groupes cibles**

De très nombreux partenaires privés ont été associés au projet et notamment des producteurs, des transformateurs et des associations de femmes regroupées en GIE, des équipementiers ...

En Guinée, ce sont davantage les producteurs de fonio qui ont été associés dès le début du projet Aval Fonio car les activités du WP1 concernent l'amont de la filière. Un intérêt particulier a été porté au village de Donghel Sigon (préfecture de Mali au Fouta Djallon) où les producteurs disposent de deux grands domaines de 170 ha et 250 ha aujourd'hui consacrés à la culture du fonio. Dans le cadre du WP2, un atelier mécanique de Labé (M. Thierno Bela) a étroitement participé aux modifications apportées à certains équipements. Enfin un groupement de femmes du village de Pilimini (préfecture de Koubia au Fouta Djallon) a bénéficié de l'installation d'un séchoir serre CSec-S de petite dimension

Au Sénégal, ce sont des associations de femmes transformatrices, regroupées en GIE, qui ont étroitement collaboré au projet en participant d'une part aux essais du séchoir à flux traversant CSec-T (GIE de Salémata) et d'autre part à l'installation et au suivi du séchoir serre solaire CSec-S et du dessableur hydrolift (GIE *Koba Club* de Kédougou). Le lycée technique *Mamba Guirassy* de Kédougou a également participé au montage final du dessableur hydrolift.

Au Mali, comme lors des précédents projets fonio, une collaboration très étroite a été établie avec l'équipementier *IMAF* qui a participé aux activités dès le début du projet. Les actions conjointes ont notamment portées sur la fabrication ou la modification des nombreux équipements ou prototypes testés dans le cadre du projet : motofaucheuse, batteuse type Ricefan, canal de vannage, crible rotatif, prototypes de dessableurs « hydrolift ». D'autres équipementiers ont également pu participer à certaines activités comme *MOD Engineering* ou l'artisan *Nana Philémon*. Plusieurs PME de Bamako ont également participé étroitement aux différents tests réalisés en milieu réel. Il s'agit notamment de *UCODAL*, *Danaya Céréales* ou encore *Dado Production*. Ces PME sont les trois entreprises leaders de la transformation du fonio au Mali Bamako (voir § 2.2.4).

Au Burkina Faso, plus d'une vingtaine d'ateliers de construction mécanique ont été rencontrés à Bobo Dioulasso et Ouagadougou lors d'enquêtes réalisées dans le cadre du WP4. Une collaboration très étroite a été établie avec l'équipementier *SOLDEV* de Bobo Dioulasso pour la fabrication de séchoirs CSec-T et la réalisation partielle et le montage du dessableur hydrolift. Une collaboration particulière a également été établie avec l'entreprise *UTF* (Unité de Transformation du Fonio) nouvellement installée à Bobo Dioulasso et qui a accueilli l'installation du dessableur hydrolift et a investi dans un séchoir à flux traversant CSec-T. Une quinzaine de transformatrices et transformateurs de fonio de l'Ouest du Burkina Faso et de Ouagadougou a bénéficié d'une session de formation à l'utilisation du séchoir CSec-T. Deux PME, « *Tout Super* » à Toussiana et *EOBA* à Ouagadougou, ont été sélectionnées pour recevoir des séchoirs CSec-T en raison de leur collaboration très ancienne avec les chercheurs qui œuvrent, depuis le début des années 2000, à l'amélioration de la filière fonio en Afrique de l'Ouest.

- **Autres tiers impliqués (ONG, etc.)**

Dans le cadre des activités du projet Aval Fonio et notamment pour les WP3 et WP4, les chercheurs ont collaboré étroitement avec des ONG comme au Burkina Faso avec l'ONG *Afrique Verte*, *Aprossa* (*Association pour la Promotion de la Sécurité et de la Souveraineté Alimentaires au Burkina*), au Mali avec l'ONG *Afrique Verte*, *Amassa* (*Association Malienne pour la Sécurité et la Souveraineté Alimentaire*) et en Guinée avec l'ONG *ADESAG* (*Association pour le développement de l'Entrepreneuriat Solidaire en Afrique et en Guinée*).

4. Visibilité

Le document de projet fait référence à différentes actions planifiées pour assurer la visibilité de la contribution de l'Union Africaine et de l'Union Européenne au projet Aval Fonio.

4.1. Site internet du projet Aval Fonio

Le site internet (en français et en anglais) consacré au projet Aval Fonio (<http://aval-fonio.cirad.fr/projet/presentation>) fait référence au financement accordé par l'Union Africaine (procédure EuropeAid) et des liens sont créés vers ces Institutions.



Figure 62. Vue de la page « présentation » du site internet Aval Fonio (© Cruz, Cirad)

4.2. Publication

En 2011, un ouvrage intitulé « Le fonio, une céréale africaine » a été publié par les éditions QUAE. Ce document, premier ouvrage exclusivement consacré au fonio, aborde tous les aspects de cette petite céréale, de la culture à la transformation.

Référence : Cruz J-F, Béavogui F., Dramé D., 2011. *Le fonio, une céréale africaine*. Editions Quae, CTA Wageningen, Presses agronomiques de Gembloux. 175 p.

En juillet 2016, c'est la version anglaise intitulée «Fonio, an African cereal » qui a été publiée (Editions Cirad, IRAG). Cet ouvrage est la synthèse d'une vingtaine d'années de recherches réalisées, en Afrique de l'Ouest, dans le cadre de différents projets internationaux dont le projet Aval Fonio.

Référence : Cruz J-F, Béavogui F., Dramé D., Diallo T.A. 2016. *Fonio, an African cereal*. Editions Cirad/IRAG, Montpellier, France, 153 p.

4.3. Accueil de visiteurs sur la plateforme agroalimentaire du Cirad


La plateforme agroalimentaire du Cirad accueille tout au long de l'année de nombreux visiteurs et participe à la Fête de la Science organisé en France. A chaque manifestation, le coordonnateur du Projet Aval Fonio (Cruz J-F.) présente à plusieurs dizaines de visiteurs le thème « Riz et fonio dans tous leurs états » dans lequel les recherches en technologies post-récolte du fonio sont largement exposées et où il est précisément fait référence au projet Aval Fonio.

La Commission européenne pourrait souhaiter publier les résultats des Actions. Auriez-vous des objections à la publication de ce rapport sur le site Internet d'EuropeAid ?

Pas d'objections

Nom de la personne de contact pour le projet Aval Fonio : CRUZ Jean-François

Signature:



CIRAD - Département Persyst
CIRAD - Persyst
Umr Qualisud
73 Rue J.F. Breton
TA B-95/15
34398 Montpellier Cedex 5
France
UMR QUALISUD

Localité:

Cirad, Département Persyst, UMR Qualisud
73, rue J.F. Breton
TA-B-95/16
34398 Montpellier Cedex 5
France

Date à laquelle le rapport était dû: Septembre 2016

Date d'envoi du rapport: Octobre 2016.



**CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN
RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT**

Département Persyst, UMR QualiSud

TA B-95/16, 73 rue Jean François Breton,
34398 Montpellier Cedex 5, France

Coordonnateur général du projet : **CRUZ Jean-François**



INSTITUT DE RECHERCHE AGRONOMIQUE DE GUINEE

B.P. 576 - Conakry - GUINEE

Coordonnateur national du projet: **BEAVOGUI Famoï**



INSTITUT D'ECONOMIE RURALE

Laboratoire de Technologie Alimentaire

B.P. 258 - Bamako – MALI

Coordinatrice nationale du projet: **Mme BORE Fanta GUINDO**



**INSTITUT DE RECHERCHES EN SCIENCES APPLIQUEES ET
TECHNOLOGIES**

Département Mécanisation

BP 7047 – Ouagadougou – BURKINA FASO

Coordonnateur national du projet : **MEDAH Ignace**



ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP

Dakar Fann - SENEGAL

Coordonnateur national du projet: **KEBE Cheikh Mouhamed Fadel**